THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par *l'Université Toulouse III - Paul Sabatier*
Discipline ou spécialité : *SCIENCES DE L'EDUCATION*
Didactique Des Disciplines Scientifiques et Technologiques

Présentée et soutenue par *BECERRIL ORTEGA Raquel*
Le *14 Novembre 2008*

Titre : *CONTEXTE PROFESSIONNEL, CONTEXTE DE LA FORMATION TECHNOLOGIQUE SUPERIEURE: APPROCHE DIDACTIQUE.*
Les cas des formations utilisant des simulateurs informatiques

---

JURY
Chantal AMADE-ESCOT, Professeure (70ème section, Université Paul Sabatier-Toulouse)
Bernard CALMETTES, MDC (70ème section, IUFM Midi Pyrenées-UTM)-Codirecteur
Bernard FRAYSSE, HDR (70ème section, INSA Toulouse)-Directeur
Roland MARANZANA, Professeur (60ème section, ETS Quebec)
Patrick MAYEN, Professeur (70ème section, ENESAD Dijon)-rapporteur
Pierre PASTRE, Professeur émerite (70ème section, CNAM Paris)-rapporteur

---

Ecole doctorale : *Ecole Doctorale CLESCO*
Unité de recherche : *Laboratoire de Didactiques des Disciplines Scientifiques et Technologiques DIDIST-CREFI-T (Equipe d'accueil n°799)*
Directeur(s) de Thèse : *Bernard FRAYSSE et Bernard CALMETTES*
Rapporteurs : *Pierre PASTRE et Patrick MAYEN*

Como las siete pieles del rinoceronte
o el grito del camaleón,
el hombre del faro
también llora cuando llueve;
y es sólo en ese preciso instante
cuando los sueños,
con olor a madera mojada,
caminan de la mano de la realidad,
pues únicamente los búhos saben,
que en ese discurrir del tiempo,
el árbol más grande
crece más fuerte
allá lejos,
justo donde el mundo no tiene fin.

Imma Marcos

Comme les sept peaux du rhinocéros
ou le cri du caméléon,
l'homme du phare
pleure aussi quand il pleut ;
et c'est seulement à ce moment précis
quand les rêves,
à l'odeur de bois mouillé,
se promènent en tenant la réalité par la main,
car les hiboux sont les seuls à savoir,
qu'en cet écoulement du temps,
l'arbre le plus grand
grandit plus fort
là-bas au loin,
exactement là où le monde n'a pas de fin.

Imma Marcos

Mes remerciements vont à l'Université Paul Sabatier et en particulier au Laboratoire de Didactique des Disciplines Scientifiques et Technologiques (DiDiST).

Je tiens à remercier à mes directeurs de recherche, Bernard Fraysse et Bernard Calmettes. Merci pour cette complémentarité que vous avez su créer et qui m'a énormément guidé dans le processus de ma reconversion thématique, vers le monde de la recherche.

Je remercie Pierre Lagarrigue pour sa disposition et ses explications sur les aspects mécaniques. Merci d'avoir assuré les conditions nécessaires pour le bon déroulement de ce travail.

Un grand merci aux professeurs du Laboratoire DiDiST, Chantal Amade-Escot et Patrice Venturini et à la secrétaire Muriel Soleillant. Merci pour vos conseils scientifiques, professionnels et personnels qui m'ont tant aidé tout au long de ces années.

Je remercie M. Pierre Pastré, pour ses réflexions qui ont beaucoup inspiré ce travail. Un grand merci pour m'avoir fait l'honneur, avec M. Patrick Mayen, d'être les rapporteurs de cette thèse. Merci aux professeurs M. Roland Maranzana, M. Chantal Amade-Escot, M. Alain Daidié et M. Pierre Lagarrigue d'avoir accepté d'être membres du jury.

Mes remerciements vont aux acteurs de l'industrie : M. Mirouze, M. Zanchetta et M. Raymond pour avoir fait possible l'analyse de l'activité professionnelle.

Un grand merci aux acteurs de la formation : les enseignants chercheurs en génie mécanique M. Pierre Lagarrigue, M. Yann Landon, M. Jean Max Redonnet et M. Vincent Boucharessas, ainsi qu'aux étudiants du CUFR de Champollion avec qui nous avons travaillé.

Merci à mes amies « toulousaines » : Raqueluca, Iñaki, Susana, Vane, Inma, Alexia, Anna, Edith, Alma, Marion, Naia, Huirma, Almita, Irene, Cris, Alicia, Jeff, Marie et Ester. Mes amies du « labo » : Andrea, Fabienne et Lionel. Mes amies de « Santander » : Rebe, Pati, Ire, Nuria, Cris, Laura, Fati, Dia, Sara et Inés. Je remercie à Roudy Dagher, mon compagnon de voyage dans la vie, pour sa présence. Merci à ma famille, en particulier mon père et mes tantes Zori et Pili, pour me rappeler constamment les choses importantes de la vie.

Abréviations et symboles utilisés

BTS	Brevet de Technicien Supérieur
CAO	Conception Assisté par Ordinateur
CMP	Certificat Maintien Professionnel
CM	Cours Magistraux
CN	Commande Numérique
COPRET	COmmission Permanente de Réflexion sur l'Enseignement de la Technologie
CUFR	Centre Universitaire de Formation et de Recherche
DiDiST	Didactique des Disciplines Scientifiques et Technologiques
ERT	Equipe de Recherche Technologique
FAO	Fabrication Assistée par Ordinateur
Imd	Introduction manuelle de données
IUT	Institut Universitaire Technologique
L2	Licence 2
L3	Licence 3
LGMT	Laboratoire de Génie Mécanique de Toulouse
MOCN	Machine Outil à Commande Numérique
Mouv	Machine outil virtuelle
Op/Om	Opièce/Omesure
PCI	Physique, Chimie, Ingénierie
POM	Prise d'Origine Machine
PREF	Prise de Références
Sa	Séance de formation avec les étudiants apprentis
Se	Séance de formation avec les étudiants expérimentés
TD	Travaux Dirigés
TP	Travaux Pratiques
UGV	Usinage à Grande Vitesse
VAE	Validation des Acquis de l'Expérience

Les acteurs de la formation

Les enseignants et chercheurs	
P1	Professeur des Universités, Concepteur du simulateur et chargé de cours avec le simulateur (avec le groupe d'expérimenté (Se) et des apprentis (Sa))
P2	Maître de Conférences, Chargé de cours avec simulateur
P3	Professeur Agrégé, Chargé de cours avec machine
P4	Maître de Conférences, Concepteur du simulateur
Les étudiants	
Se	Séance avec le groupe des étudiants expérimentés, titulaires d'un BTS en productique. Ils ont une expérience préalable dans l'utilisation des MOCN.
Sa	Séance avec le groupe des étudiants apprentis. Ils n'ont pas d'expérience dans le domaine des machines outils.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE 17

CHAPITRE 1 25

ETUDE EXPLORATOIRE 25

1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE EXPLORATOIRE 26
1.2 PARTIE THEORIQUE DE L'ETUDE EXPLORATOIRE 27
1.2.1 LES MOTIVATIONS DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS CONCEPTEURS DU SIMULATEUR 27
1.2.2 ELEMENTS THEORIQUES POUR DECRIRE LA SITUATION DE FORMATION 28
1.3 PROBLEMATISATION DE L'ETUDE EXPLORATOIRE 29
1.4 METHODOLOGIE DE L'ETUDE EXPLORATOIRE 30
1.5 RESULTATS ET DISCUSSION 31
1.5.1 MOTIVATIONS ET RÔLES DES CONCEPTEURS DU SIMULATEUR 31
1.5.2 LA MISE EN ŒUVRE DU SIMULATEUR EN SITUATION DE FORMATION 35
1.5.3 DISCUSSION DES RESULTATS DE L'ETUDE EXPLORATOIRE ET OUVERTURE 37

CHAPITRE 2 43

ETAT DES LIEUX 43

2.1 LES APPORTS DE LA DIDACTIQUE DE LA TECHNOLOGIE ET LE CONTEXTE DE LA FORMATION TECHNOLOGIQUE SUPERIEURE 44
2.1.1 REGARD DIDACTIQUE SUR LES ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES 46
2.1.2 LE CONTEXTE UNIVERSITAIRE TECHNOLOGIQUE 50
2.1.3 VERS DES ELEMENTS DE PROBLEMATISATION 55
2.2 LES APPORTS DE LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE : LES THEORIES D'APPRENTISSAGE 56
2.2.1 APPROCHE DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE 56
2.2.2 ELEMENTS DE PROBLEMATISATION 62
2.3 ETAT DES LIEUX : L'ANALYSE DU TRAVAIL POUR LA FORMATION 62
2.3.1 L'ANALYSE DU TRAVAIL EN DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE 63
2.3.2 L'ERGONOMIE DE LANGUE FRANÇAISE : CONCEPTS ET METHODES 67
2.3.3 DES EXEMPLES D'ANALYSE DU TRAVAIL : SUR L'ACTIVITE PRODUCTIVE D'USINAGE DE PIECES ET SUR LE DEVELOPPEMENT DE SIMULATEURS 69
2.3.4 ELEMENTS DE PROBLEMATISATION: sur l'objet à enseigner dans un contexte déterminé 72
2.4 VERS L'ELABORATION D'UN CADRE CONCEPTUEL 72
2.4.1 LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE 73
VERS UNE ARTICULATION THEORIQUE 75

CHAPITRE 3 79

LE CADRE CONCEPTUEL DE LA RECHERCHE 79

3.1 L'ELABORATION DES CONCEPTS (RELATIFS AUX TECHNIQUES) DANS LE CONTEXTE UNIVERSITAIRE TECHNOLOGIQUE 81
3.1.1 VERS UNE MODELISATION DES CONCEPTS PRAGMATIQUES 84
3.1.2 PRAGMATISATION DES CONCEPTS THEORIQUES : LE CAS DES APPRENTISSAGES EN SITUATIONS HAUTEMENT TECHNIQUES ET COMPLEXES 88
3.2 LE CONTEXTE DE LA FORMATION UNIVERSITAIRE TECHNOLOGIQUE 90
3.2.1 PREMIER MOMENT DE CARACTERISATION DE L'INSTITUTION DANS UN MODELE UNIVERSITAIRE 91
3.2.2 DEUXIEME MOMENT DE CARACTERISATION DE LA DISCIPLINE 92
3.2.3 TROISIEME MOMENT DE L'ARTICULATION ENTRE UNE APPROCHE DIDACTIQUE DISCIPLINAIRE ET UNE APPROCHE DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE 95
3.3 LA CONSTRUCTION DU CURRICULUM DANS LE CONTEXTE UNIVERSITAIRE TECHNOLOGIQUE 98
3.3.1 LA QUESTION DE LA REFERENCE DANS LA CONSTRUCTION DE CURRICULUM 99
3.3.2 LES OBJECTIFS DANS LA CONSTRUCTION DU CURRICULUM 101
3.3.3 LA PLACE DE LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE DANS LA PROPOSITION DE CONTENUS D'ENSEIGNEMENT 104

3.4 PRESENTATION DE LA SITUATION DE FORMATION AVEC SIMULATEUR 106
3.4.1 PRESENTATION DU SIMULATEUR 106
3.4.2 LES REFERENCES THEORIQUES POUR L'ETUDE DES PROCESSUS TRANSPOSITIFS 107
3.5 L'ETUDE DU FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DIDACTIQUES AVEC SIMULATEUR 109
3.5.1 VERS UNE APPROCHE THEORIQUE D'ETUDE DES SITUATIONS D'ENSEIGNEMENT AVEC SIMULATEUR 110
3.5.2 L'ANALYSE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-CLASSE : DU CÔTE DE L'ENSEIGNANT ... 110
3.5.3 L'ANALYSE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-CLASSE : DU CÔTE DES ETUDIANTS 111

CHAPITRE 4 117

PROBLEMATIQUE GENERALE DE LA RECHERCHE 117

4.1 ETUDE DE LA RELATION ENTRE CONTEXTE PROFESSIONNEL ET DE LA FORMATION PAR L'ELABORATION DES CONCEPTS TECHNIQUES 119
4.1.1 PRESENTATION DE LA QUESTION DE RECHERCHE 119
4.1.2 DELIMITATION DE L'OBJET DE RECHERCHE 121
4.2 ETUDE DE LA RELATION ENTRE LE CONTEXTE DE LA FORMATION ET LE CONTEXTE PROFESSIONNEL CONCERNANT L'ELABORATION DE CURRICULUM 122
4.2.1 PRESENTATION DE LA QUESTION DE RECHERCHE 122
4.3 ETUDE DE LA RELATION ENTRE LE CONTEXTE DE LA FORMATION ET LE CONTEXTE PROFESSIONNEL A TRAVERS LE FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DIDACTIQUES 127
4.3.1 PRESENTATION DE LA QUESTION DE RECHERCHE 127
4.3.2 DELIMITATION DE L'OBJET DE RECHERCHE 130

CHAPITRE 5 137

METHODOLOGIE GENERALE DE LA RECHERCHE 137

5.1 PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE GENERALE DE LA RECHERCHE 138
5.2 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA RELATION ENTRE LE CONTEXTE PROFESSIONNEL ET CELUI DE LA FORMATION 139
5.2.1 L'ANALYSE DU TRAVAIL : ETUDE DE DEUX SITUATIONS EN CONTEXTE PROFESSIONNEL 140
5.2.2 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA MODELISATION DES CONCEPTS RELATIFS A LA TECHNIQUE 141
5.2.3 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE L'ELABORATION D'UNE PARTIE DU CURRICULUM ET DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE EN DEHORS DE LA CLASSE 142
5.2.4 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE DANS LA CLASSE 144
5.3 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DU FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DIDACTIQUES 144
5.3.1 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-CLASSE : DU CÔTE DE L'ENSEIGNANT 145
5.3.2 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-CLASSE : DU CÔTE DES APPRENANTS 145

CHAPITRE 6 153

RESULTATS DE L'ANALYSE DU TRAVAIL 153

6.1 LE CHOIX DES SITUATIONS POUR L'ANALYSE DU TRAVAIL 154
6.1.1 JUSTIFICATION DE CHOIX DES SITUATIONS DE TRAVAIL ETUDIEES 154
6.1.2 ANCRAGE THEORIQUE DE L'ANALYSE DU TRAVAIL 155
6.1.3 ANCRAGE METHODOLOGIQUE DE L'ANALYSE DU TRAVAIL 156
6.2 METHODOLOGIE ET RECUEIL DE DONNEES 157
6.2.1 L'ANALYSE GLOBALE DU CONTEXTE DE TRAVAIL 157
6.2.2 L'ANALYSE DE L'ACTIVITE D'UN OPERATEUR EXPERT 158
6.2.3 VERIFICATION ET APPROFONDISSEMENT DE LA STRUCTURE CONCEPTUELLE DE LA SITUATION 159
6.3 ELABORATION DE LA STRUCTURE CONCEPTUELLE DE L'ACTIVITE DE L'OPERATEUR ... 159
6.3.1 ETUDE DE LA SITUATION DE MISE EN FONCTIONNEMENT ET REGLAGE D'UNE MOCN 160
6.4 ETUDE DE LA SITUATION DE MISE EN FONCTIONNEMENT ET REGLAGE D'UNE MACHINE OUTIL A COMMANDE NUMERIQUE 166
6.5 ANALYSE DES DIFFICULTES DES OPERATEURS NOVICES 171

CHAPITRE 7 ... **179**

ETUDE DE LA MODELISATION DES CONCEPTS TECHNIQUES ... **179**

7.1 METHODOLOGIE ... 180
7.1.1 ANCRAGE THEORIQUE ... *180*
7.1.2 METHODOLOGIE D'ETUDE DE LA MODELISATION DU PHÉNOMÈNE DE DILATATION DE LA BROCHE ... *181*
7.2 PRESENTATION DU PHENOMENE D'EVOLUTION TEMPORELLE DE LA BROCHE ... 182
7.2.1 ANALYSE DU PHENOMENE LIE A LA DILATATION DE LA BROCHE EN CONTEXTE PROFESSIONNEL ... *182*
7.2.2 ANALYSE DU PHENOMENE : EVOLUTION TEMPORELLE DE LA BROCHE, EN CONTEXTE DE RECHERCHE ... *183*
7.3 ETUDE DE LA MODELISATION D'UN CONCEPT TECHNIQUE : L'EVOLUTION TEMPORELLE DE LA BROCHE ... 184
7.3.1 LE PHENOMENE DE DILATATION DE LA BROCHE PEUT-IL ÊTRE MIS EN RELATION AVEC UN CONCEPT PRAGMATIQUE ? ... *184*
7.3.2 CONDITIONS DE L'ETUDE DE LA MODELISATION EFFECTUEE DANS LE CHAMP DE GENIE MECANIQUE ... *186*
7.4 ANALYSE GLOBALE DU PROCESSUS D'ELABORATION D'UN MODELE ... 190
7.4.1 ETUDE DU PARADIGME EPISTEMIQUE ... *190*
7.4.2 ETUDE DU PROCESSUS D'ELABORATION DU MODELE ... *192*
7.5 CARACTERISATION DES MODELES ELABORES ... 193
7.5.1 LE TYPE DE MODELISATION ... *193*
7.5.2 LA REDUCTION OPERATOIRE ... *194*
7.5.3 LA VISEE SCIENTIFIQUE ... *195*
7.5.4 LA MODELISATION EFFECTUEE CORRESPOND A UN CONCEPT TECHNIQUE ? ... *196*

CHAPITRE 8 ... **201**

ETUDE DU CURRICULUM ET TRANSPOSITION DIDACTIQUE EN DEHORS DE LA CLASSE ... **201**

8.1 ANALYSE DE L'ELABORATION DU CURRICULUM ... 203
8.1.1 ANCRAGE THEORIQUE ... *203*
8.1.2 ANCRAGE METHODOLOGIQUE ... *204*
8.1.3 DISCUSSION DES RESULTATS ... *205*
8.2 ETUDE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE EN DEHORS DE LA CLASSE ... 210
8.2.1 METHODOLOGIE D'ANALYSE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE EN DEHORS DE LA CLASSE ... *211*
8.2.2 AUTOUR DU REGLAGE DE LA MACHINE ... *212*
8.2.3 AUTOUR DE L'EVOLUTION TEMPORELLE DE LA BROCHE ... *222*

CHAPITRE 9 ... **229**

ETUDE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE DANS LA CLASSE ... **229**

9.1 ETUDE DE LA MISE EN ŒUVRE DU CURRICULUM ... 230
9.1.1 ANCRAGE THEORIQUE ... *230*
9.1.2 ANCRAGE METHODOLOGIQUE ... *230*
9.2 RESULTATS ET DISCUSSION ... 231
9.2.1 LA PRATIQUE PROFESSIONNELLE FUTURE DES ETUDIANTS ... *231*
9.2.2 LES ELEMENTS DE LA STRUCTURE CONCEPTUELLE DE LA SITUATION ... *233*
9.2.3 LES MODALITES DE MISE EN ŒUVRE DES CONTENUS DANS LA SITUATION DE CLASSE 234
9.2.4 L'INTEGRATION DES ELEMENTS ABORDES PENDANT LES COURS DANS LE CURRICULUM ... *236*

CHAPITRE 10 ... **243**

ETUDE DU FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DIDACTIQUES AVEC SIMULATEUR ... **243**

10.1 METHODOLOGIE ... 244
10.1.1 ANCRAGE THEORIQUE ... *244*
10.1.2 ANCRAGE METHODOLOGIQUE ... *246*
10.1.3 CHOIX DES SEQUENCES ET ANALYSE DE DONNES ... *252*
10.1.4 CARACTERISATION DES ACTEURS ... *254*
10.1.5 L'ORGANISATION DE RESULTATS ... *257*

10.2 ETUDE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-ETUDIANTS : DU CÔTE DE L'ENSEIGNANT P1257
10.2.1 LA PREMIERE SEANCE : AVEC LE GROUPE D'ÉTUDIANTS EXPERIMENTES 258
10.2.2 LA DEUXIEME SEANCE : FACE AU GROUPE D'« APPRENTIS » 282
10.2.3 COMPARAISON DE LA CO-ACTIVITE DANS LES DEUX SEANCES DE FORMATION : DU COTE DE L'ENSEIGNANT P1 292
10.3 ETUDE DE LA CO-ACTIVITE ETUDIANT-ENSEIGNANT À PARTIR DE L'ANALYSE DE L'ACTIVITE DES ETUDIANTS 296
10.3.1 La séance de formation avec les étudiants expérimentés 296
10.3.2 LA SEANCE DE FORMATION AVEC LES ETUDIANTS APPRENTIS 301
10.4 COMPARAISON DE L'ACTIVITE DES ETUDIANTS DANS LES DEUX SEANCES 305
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES 309

Introduction Générale

Introduction générale

Lorsqu'on s'intéresse aux formations des ingénieurs et des techniciens supérieurs, on constate les rapports étroits que ces filières entretiennent avec le monde industriel. Dans ce sens, on observe l'émergence de pédagogies -par projet- et la mise en œuvre des nouvelles modalités de formation -en alternance, stages professionnels, année de césure- qui constituent des ouvertures vers la professionnalisation.

Nous avons cependant remarqué que les études relatives aux aspects didactiques dans le cas de ces filières technologiques sont rares, et ce bien que les savoirs hautement techniques, en jeu dans ces formations, constituent un véritable patrimoine : leur transmission s'avère être délicate. En effet, la discipline technologique évolue de manière singulière, différenciée des sciences dites « pures ». Elle s'est construit des modes de pensée propres. Par ailleurs, dans les formations technologiques supérieures les enseignants chercheurs interviennent dans l'élaboration des savoirs, dans la construction et la mise en œuvre du curriculum.

Eu égard à cette rareté, la présente recherche s'intéresse à une approche didactique s'appuyant sur des références au contexte professionnel et au contexte de la formation. Pour cela, ce travail met en relation les cadres théoriques de la didactique de la technologie et de la didactique professionnelle. L'approche didactique proposée interroge le processus de transposition des situations en contexte professionnel vers le contexte de la formation, via un simulateur informatique. Notre recherche vise à étudier la chaîne transpositive complète à partir :

- des situations du contexte professionnel, ciblées par la formation technologique supérieure
- des modes d'élaboration des concepts techniques par les enseignants-chercheurs à partir des problématiques industrielles
- de l'élaboration du curriculum de formation et des processus transpositifs
- de fonctionnement des systèmes didactiques

Souvent, les formations technologiques font appel à des artefacts, engins techniques. La situation de formation étudiée dans la présente recherche utilise un simulateur de machine outil à commande numérique (MOCN).

Ce mémoire de thèse est structuré en deux grandes parties. La première, *Le cadre de la recherche*, mobilise les travaux antérieurs concernant l'objet de ce travail : le contexte professionnel, les formations technologiques et les simulateurs, ainsi que les articulations théoriques nécessaires pour construire la problématique et déterminer les outils méthodologiques nécessaires.
La deuxième, *L'étude de la relation entre le contexte professionnel et le contexte de la formation*, expose la construction des éléments de réponse autour de la chaîne transpositive complète à partir des références jusqu'à l'utilisation des simulateurs en situation de formation.

La première partie s'organise en cinq chapitres.

1. L'**étude exploratoire**, s'intéresse au fondement de la conception d'un simulateur par des enseignants-chercheurs en génie mécanique.
2. L'**état des lieux**, propose des éléments théoriques issus de la didactique professionnelle et de la didactique de la technologie, en relation avec l'utilisation des simulateurs en formation.
3. Le **cadre conceptuel**, articule les deux didactiques afin d'étudier la relation entre le contexte professionnel et de la formation.
4. La **problématique générale de recherche**, présente les processus transpositifs relatifs à l'étude des relations entre contexte professionnel, savoirs de la recherche et contexte de la formation, dont le fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur.
5. La **méthodologie générale de recherche**, expose de manière synthétique l'approche qualitative privilégiée dans cette recherche.

La deuxième partie comporte cinq chapitres. Suivant la logique de la chaîne transpositive.

6. L'**analyse du travail** est exposée, et la structure conceptuelle de la situation ciblée ainsi que l'analyse du réglage et des difficultés des opérateurs novices sont présentées.
7. L'**élaboration des concepts techniques** est étudiée, en analysant les modes de pensée en technologie par la construction des savoirs.
8. L'**élaboration du curriculum** s'intéresse à la spécificité du rôle des acteurs de la formation supérieure et à la **transposition didactique «** en dehors de la classe » à travers un instrument, le simulateur, qui sert de moyen pour les apprentissages.
9. La **transposition didactique** « dans la classe ».
10. L'**étude du fonctionnement des systèmes didactiques** avec simulateur est abordée par **la co-activité enseignant-étudiants** à partir des stratégies mobilisées par

l'enseignant et par **la co-activité, du point de vue des étudiants**, par l'analyse de deux groupes d'étudiants : les expérimentés et les apprentis, dans l'utilisation du simulateur.

La conclusion générale se veut être une contribution à la compréhension des relations didactiques entre le contexte professionnel et le contexte de la formation technologique supérieure et dans l'utilisation des simulateurs en formation.

Première partie
Le cadre de la recherche

Chapitre 1 :
Etude exploratoire

CHAPITRE 1

ETUDE EXPLORATOIRE

QUEL SIMULATEUR POUR QUEL ENSEIGNEMENT?

Analyse des motivations des concepteurs d'un simulateur pour la formation

1.1 Contexte de l'étude exploratoire
1.2 Partie théorique de l'étude exploratoire
1.3 Problématisation de l'étude exploratoire
1.4 Méthodologie de l'étude exploratoire
1.5 Résultats et discussion

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord une description du contexte de l'étude exploratoire. Ensuite, des notions théoriques et la problématique sont abordées en se focalisant : d'une part sur la conception du simulateur, d'autre part sur le type de situation de formation visée. Enfin, des résultats sont discutés afin de répondre aux questions posées par la problématique.

L'objectif de cette étude exploratoire est d'établir une relation entre la conception du simulateur et les objectifs visés par la formation.

1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE EXPLORATOIRE

Afin de répondre à l'objectif de cette étude deux questions sont posées.

1. La première porte sur la conception d'un simulateur par un groupe d'enseignants chercheurs.
2. La deuxième s'intéresse au type de situation de formation susceptible d'être réalisée avec le simulateur : quel simulateur ? Pour quel enseignement ?

Cette étude a été réalisée durant l'année scolaire 2004-2005, avec les enseignants chercheurs concepteurs du simulateur, et avec des étudiants de l'université Paul Sabatier à Toulouse. Cette institution est différente de celle dans laquelle se situeront les situations de formation objets de la présente recherche. Il est donc nécessaire de contextualiser cette étude.

Cette étude exploratoire concerne des enseignants chercheurs en génie mécanique, option production industrielle à l'université Paul Sabatier. Il s'agit des responsables du projet de développement d'un simulateur de machine outil à commande numérique (MOCN). Ces chercheurs ont développé un premier prototype avant de commencer une collaboration avec le laboratoire DiDiST[1]. Le prototype a pu être ainsi utilisé dans le cadre de la formation pratique (Travaux Pratiques) avec des étudiants en deuxième et troisième année de licence (L2 et L3) « Production Industrielle ». Le profil de ces étudiants, ainsi que l'utilisation du simulateur dans une situation de formation, ont fait l'objet d'une première étude[2]. Nous avons montré que les différents parcours des étudiants (IUT, BTS, etc), entraînent des niveaux très différents en termes de maîtrise d'utilisation de la machine outil elle-même. En ce qui concerne l'environnement de la formation, nous avons noté que la séquence se déroule sur 30 heures : cours théoriques et travaux sur machine. L'objectif étant de favoriser l'autonomie des étudiants face à des moyens de production.

L'introduction d'un simulateur induit des changements de pratique de la part des formateurs. Dans la forme actuelle le simulateur est utilisé comme ressource pour l'introduction au réglage, étape indispensable avant la phase d'usinage. Le réglage consiste à situer le repère de la machine, et par la suite, de programmer l'usinage de la pièce en fonction de ce repère. Cette brève description du contexte de l'étude exploratoire, constitue le point de départ pour l'analyse des motivations premières des enseignants chercheurs dans la conception du simulateur.

[1] Laboratoire de DIdactiques des DIsciplines Scientifiques et Technologiques : DiDiST-CREFI-T
[2] Dans le cadre du DEA Sciences de l'Education : « Mise en œuvre d'un simulateur de MOCN »

1.2 PARTIE THEORIQUE DE L'ETUDE EXPLORATOIRE

Deux entrées théoriques autour des questions posées par cette étude exploratoire sont présentées. La première s'intéresse aux motivations du développement d'un simulateur ; elle est portée par des enseignants chercheurs dans un contexte universitaire technologique. La deuxième entrée s'interroge au type de formation envisagé.

1.2.1 LES MOTIVATIONS DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS CONCEPTEURS DU SIMULATEUR

Afin d'approfondir les motivations des enseignants chercheurs, concepteurs du simulateur, nous avons adopté une perspective originale[3]. Pour saisir les décisions à l'origine de la de conception de l'outil, nous nous sommes intéressés à l'identité professionnelle de ces enseignants chercheurs. Cette notion d'identité est un apport de l'approche psychosociale « à partir d'une problématique de l'interaction, qui intègre, d'une part des aspects individuels et composants psychologiques liés à la personnalité, et d'autre part, les variables sociologiques liés à la notion de rôle social » (Fraysse, 2000, p 653). Cette approche de l'identité, permet de mettre en évidence la dialectique entre les aspects personnels et sociaux (Dubar, 1996). Barbier (1999) signale l'importance d'une approche par l'identité dans les problématiques de champs des sciences humaines et sociales, parce qu'elle permet de relier des constructions mentales et discursives (formant l'identité) avec la pratique professionnelle et propose une approche méthodologique qui devrait : conserver une perspective multidisciplinaire, prendre en compte les phénomènes macrosociaux et prendre en compte le processus d'évolution identitaire dans un mouvement continu.

On retrouve cette perspective globale chez Gohier et autres (2001) qui précisent que l'identité professionnelle relève en partie du contexte de travail.

Dans cette étude exploratoire, nous effectuons une première caractérisation de l'identité professionnelle des enseignants chercheurs en génie mécanique, en utilisant des travaux semblables déjà effectués. L'identité d'un enseignant chercheur est multi-référentielle. Les trois références professionnelles sont l'ingénierie, l'enseignement et la recherche.

[3] Pour une lecture plus approfondie, voir: Becerril, R., Calmettes, B., Fraysse, B., (2007) Relación entre la identidad profesional y la práctica docente: aplicación al estudio del profesorado de ingeniería de la producción en el desarrollo de un simulador, *Actes du premier congrès internacional de la formation continue des enseignants*, Barcelone, septembre, pp 135-157.

Un travail a été consacrée aux travaux sur les éléments pouvant conformer l'identité professionnelle des enseignants chercheurs en production industrielle (voir Becerril et autres, 2007). Ainsi, relatifs à l'identité professionnelle des ingénieurs, les travaux dans la littérature sont quantitatifs et basés sur les représentations professionnelles. Pour caractériser l'identité des enseignants, certains des travaux sont qualitatifs et centrés sur les différentes formes de discours. Face à cette diversité théorico-méthodologique, on trouve un fil conducteur : dans les travaux sur l'identité professionnelle la pratique professionnelle est toujours présente. La relation entre l'identité professionnelle et la pratique professionnelle a été mise en évidence dans de nombreux travaux.

Notre première hypothèse sera donc la suivante : l'identité muti-référentielle des enseignants chercheurs n'aura-t-elle pas une influence sur leur pratique professionnelle d'enseignement et donc sur le choix d'une conception déterminée d'un simulateur pour la formation ?

1.2.2 ELEMENTS THEORIQUES POUR DECRIRE LA SITUATION DE FORMATION

Les éléments théoriques mobilisés pour décrire la situation de formation appartiennent aux didactiques, notamment à la didactique de la technologie et à la didactique professionnelle. Ce choix se justifie par la situation de formation effectivement étudiée : apprentissages (de savoirs et des pratiques, des compétences, etc[4]) au sein d'une université de formation supérieure, en alternance entre TP et atelier, sur un simulateur puis sur une machine. Les notions mobilisées sont : situation problème et pratiques de référence.

Les caractéristiques de la situation de formation permettent d'orienter la réflexion théorique dans le sens d'une formation professionnelle. Dans cette perspective, l'introduction de certains concepts de didactiques disciplinaires peut s'avérer utile pour l'analyse de la conception de la situation de formation et constitue la question suivante à aborder.

Le concept de situation problème est important puisque c'est par ce biais que les enseignants travaillent avec les étudiants en formation. Ce concept est utilisé dans diverses didactiques disciplinaires, notamment scientifiques et technologiques. Selon Boilevin (2005, p 14) la situation problème relève d'un obstacle lié à des conceptions erronées et le travail des étudiants pour dépasser cet obstacle permet la construction de connaissances.

Les travaux pratiques (TP) ont pour but d'amener l'étudiant à résoudre des problèmes en mettant en œuvre des savoirs faire liés à la technologie. Dans le cas étudié, les TP sont en fin

[4] La question des apprentissages sera abordée en profondeur dans le cadre conceptuel

de séquence, après les cours magistraux et les travaux dirigés. Ces TP sont conçus dans les formations technologiques supérieures de techniciens supérieurs. Cartonnet (2001, p 8) s'intéresse aux activités caractéristiques de la conception de produits industriels. Il s'agit de «définir les activités et les objets, issus de situations de travail, que l'on peut proposer en situation d'enseignement de telle sorte qu'ils soient pertinents par leur généralité, pour former de futurs experts en conception» (Ibid, p 82).

Deux facteurs « impliquent » la pratique professionnelle comme pratique de référence : d'une part, la formation universitaire caractérisée comme professionnelle, d'autre part, les objectifs d'une situation de formation de TP exprimés par cet auteur (Cartonnet, 2001).

1.3 PROBLEMATISATION DE L'ETUDE EXPLORATOIRE

Les questions qui ont guidé le cadre théorique portent sur les motivations des enseignants-chercheurs, la « philosophie » de conception de l'outil et la situation de formation envisagée avec le simulateur. La notion d'identité professionnelle et sa relation avec la pratique professionnelle a été présentée comme une voie de problématisation afin d'élucider les motivations des enseignants-chercheurs. Divers travaux[5] ont permis de relever certains éléments d'une identité caractérisée comme multi-référentielle. L'approche contextuelle que nous menons s'est ensuite intéressée à la situation de formation dans laquelle le simulateur va être utilisé. Nous avons décrit quelques notions permettant d'illustrer les objectifs de l'apprentissage, ainsi qu'une idée sous-jacente à la conception qui pourrait être mobilisée a priori par les concepteurs de l'outil.

Dans cette étude exploratoire on cherche à expliquer comment l'identité des enseignants chercheurs a influencé le développement d'un dispositif conçu pour la formation en L2 et L3 des techniciens supérieurs. Si l'on s'en tient au discours exprimé par les concepteurs, le but du TP consiste à faire comprendre une opération de réglage de machine outil à commande numérique sur simulateur aux étudiants afin qu'ils la reproduisent ensuite sur la machine dans l'atelier. Cette approche, nous conduit à penser que le simulateur pouvait être conçu avec une logique pleine échelle (Pastré, 2006), dans laquelle le réel est reproduit avec le maximum de vraisemblance. L'apprentissage repose sur l'activité comme principe de construction des compétences. La méthodologie de formation associée possède une forte composante d'analyse de la situation vécue par les apprenants (Pastré, 2006). Cependant, la situation de formation effectivement mise en œuvre s'éloigne d'une haute fidélité dans la reproduction du réel, pour

[5] Dans ces travaux, les méthodologies portent sur les analyses discursives. Comme nous le verrons plus tard, dans les études portant sur l'identité professionnel, les méthodologies sont très diverses.

proposer aux étudiants une situation problème. Il s'agit alors de modéliser un problème issu du contexte de travail, pour promouvoir l'apprentissage de certaines compétences, considérées comme indispensables. Dans ce cas, la méthodologie de développement de l'outil dépend davantage d'une analyse a priori de la situation de travail.

La problématique de cette étude exploratoire cherche à éclairer cette dialectique entre la conception du simulateur pleine échelle et une mise en œuvre d'une situation de formation proposant un problème et relevant donc d'une conception de simulateurs de résolution de problèmes (Pastré, 2006). Nous formulons l'hypothèse de l'existence d'une identité multi-référentielle, avec une composante identitaire de l'ingénieur, qui guiderait vers une conception du simulateur pleine échelle, propre d'une approche anthropotechnique (Rabardel, 1995). Une autre composante identitaire, celle de l'enseignant promeut plutôt une mise en œuvre à travers une situation problème.

1.4 METHODOLOGIE DE L'ETUDE EXPLORATOIRE

La méthodologie est basée sur l'analyse de discours des enseignants chercheurs qui travaillent au projet de développement du simulateur, avec des niveaux de responsabilité différents. Nous avons aussi effectué des observations « au vol » dans deux formations avec simulateur[6]. La présentation se limite ici aux résultats et à la discussion.

Nous avons réalisé dans un premier moment, deux entretiens avec les responsables de la conception de l'outil, que nous appellerons P1 et P4[7], enseignants chercheurs dans le même laboratoire. Ces entretiens avaient comme objectif de clarifier les rôles de chacun dans le projet Mouv, ainsi que de caractériser quelques éléments de leurs identités professionnelles respectives.

Afin d'établir une relation plus précise entre l'identité de ces enseignants-chercheurs et leur activité en tant qu'enseignants, deux entretiens ont été réalisés dans un deuxième temps. Le premier avec P1 et le deuxième avec P2. P2 est un enseignant chercheur qui n'est pas impliqué dans le projet du développement mais qui donne des cours en utilisant le simulateur. De plus nous avons observé des situations de formation avec P1 et P2, afin d'observer les modalités d'utilisation du simulateur dans la classe. Le tableau suivant explicite la constitution des différentes données :

[6] La transcription des entretiens est disponible dans l'annexe 1.

[7] Les noms assignés à chaque enseignant (P) sont disponibles et explicités dans les pages préliminaires de cet écrit.

Tableau 1 : données de l'étude exploratoire

Dispositif	Acteur	Type de données	Type d'analyses
Entretien qui porte sur les objectifs du projet, les conceptions de l'ingénierie et de l'enseignement et les objectifs de la formation avec simulateur.	P4, enseignant chercheur concepteur de Mouv, il n'assure pas des cours avec le simulateur.	Entretien, transcription, disponibles dans les ANNEXE 1 : entretien 2	Analyse catégorielle du discours, ayant comme objectif de chercher les relations entre identité professionnelle et l'idée sous-jacente dans la conception du simulateur.
	P1, enseignant chercheur concepteur de Mouv, il assure des cours avec le simulateur.	Entretien, transcription disponibles dans les ANNEXE 1 : entretien 1	
Entretien qui porte sur la préparation, objectifs et la mise en œuvre des séances de formation dans ce contexte universitaire	P1 a préparé le cahier du Travaux Pratiques pour la séance de formation avec simulateur	Entretien, transcription disponibles dans les ANNEXE 1 : entretien 3	Analyse catégorielle du discours, ayant comme objectif de comprendre l'élaboration de cours et du cahier de TP, le choix des contenus de formation et la mise en œuvre de ces contenus.
	P2 enseignant chercheur, assure les cours avec simulateur en utilisant le cahier de TP élaboré par P1	Entretien élaboré à partir des résultats de l'entretien avec P1, transcription disponibles dans les ANNEXE 1 : entretien 4	
Observation non systématisées des séances de formation avec simulateur	P1 effectue des cours avec simulateur P2 effectue des cours avec simulateur	Prises de notes au vol, observation de la relation des apprenants et des enseignants avec le simulateur.	Identification des incidents qui relèvent de l'utilisation du simulateur.

1.5 RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats sont présentés par rapport aux objectifs de cette étude exploratoire. D'abord, nous présentons les résultats relatifs aux motivations et rôles des concepteurs du simulateur. Ensuite, dans l'analyse de la mise en œuvre du simulateur en situation de formation, nous abordons la pratique professionnelle des enseignants.

1.5.1 MOTIVATIONS ET RÔLES DES CONCEPTEURS DU SIMULATEUR

L'analyse des entretiens effectués met en évidence quelques composantes de l'identité de l'ingénieur (voir Becerril et autres, 2007). Nous retiendrons celles qui renvoient à une distribution des rôles dans le projet, analogue à celle identifiée dans le contexte professionnel des ingénieurs:

- Un ingénieur (P4) gère « la technique ». La composante identitaire renvoie à mathématique, industriel, scientifique, recherche et informatique.
- Un « manager » (P1), est chargé de la partie administrative et de la gestion, avec un rôle institutionnel très important.

Dans les extraits qui suivent, nous pouvons identifier les différentes distributions des rôles au sein du projet Mouv:

> **ETMP1-P1-14** : « P4 fait le code, moi j'ai des avantages sur l'aspect fabrication et Z qui est le codeur, mais tout ce qui contient, tout ce que Z code, est fait à partir de ce qu'ont fait les autres. […] des travaux de recherche de différents collègues, des travaux de thèse. »

> **ETMP4-P4-12** : « C'est P1 qui a pris en main le projet, […] et puis après, pour l'aspect de développement on a contacté Z […]. Pour le LEMME[8], c'était que dans le projet initial il manquait une composante et ce n'était pas notre spécialité donc pour améliorer la qualité on a fait appel à plusieurs compétences dans la matière ».

Ces extraits montrent comment P1 se réfère à son propre rôle (aspects fabrication) et au rôle de P4 (décisions sur le code). Selon le discours de P4, le rôle de P1 consiste à effectuer la gestion du projet, avec la partie administrative incluse :

> **ETMP4-P4-14** : « Les autres profils de chercheurs : il y a un développeur, il y a un chef de projet, il y a Z, qui est le développeur […], il y a P1 qui cherche coté administratif, et moi je suis dans un coté conseiller technique, quoi, qui surveille un peu l'aspect technique ».

En relation avec les phases du développement du simulateur, P1 et P4 mettent en avant une conception du développement par modules :

> **ETMP1-P1-22** : « La première phase c'était de développer le noyau central, c'est à dire que dans ce noyau central à chaque fois on remet un module qui met des compétences complémentaires. […]Au premier temps […] on était parti de nos compétences à nous. Le noyau central est l'interface homme machine et après il faut ajouter par exemple la compétence de savoir lire un CN, par exemple la compétence d'écriture de broche, la compétence d'enlèvement de matière. Tu vois, à chaque fois on ajoute un petit module […] voilà l'idée qu'on a utilisée pour concevoir et après on va faire morceau par morceau. »
> **ETMP4-P4-18** : « Dans le cadre de la conception, au début on a fait la conception générale, donc on a choisi de faire les grands choix techniques : support, etc… et des choix de conception : les choix des architectures et aussi des mobilières possibles, et après on l'a mis en place. Et maintenant la phase de conception ça va être l'amélioration de l'interface, ensuite ça va être la modélisation d'enlèvement de matière. Donc ça comporte un premier jalon dans le sens que tout ça compose une chose globalement rentable […]».

Nous avons demandé aux enseignants P1 et P4 quel était l'apport du simulateur à la formation au métier d'ingénieur[9]. Ainsi, les réponses des acteurs sont orientées en fonction de leur conception du métier. Certains éléments peuvent être relevés : pour P1 le simulateur est une sorte de « réalité augmentée » qui permet de confronter les idées et de vérifier si elles sont « raisonnables » ou pas. Pour P4, le simulateur permet de se familiariser avec un environnement de travail. Pour P1 :

> **ETMP1-P1-38**: « Un ingénieur c'est celui qui gère les idées.»
> **ETMP1-P1-40** : « Moi je le vois dans le métier d'ingénieur ça lui permet de voir si ses idées sont raisonnables ou pas, est-ce qu'il sait faire ? […] Pour moi, la simulation c'est une sorte de réalité augmentée. La simulation permet de voir des choses qu'on ne voit pas dans la réalité de tous les jours. C'est un outil d'aide à l'optimisation. Pour moi c'est l'ingénieur qui optimise ; ce n'est pas l'outil, l'outil ne sait pas faire et en opérant, il montre des choses qu'on ne peut pas voir dans la réalité, pour ça je l'appelle réalité augmentée. Et grâce aux choses qu'on voit de plus l'ingénieur peut optimiser. »

Et pour P4 :

> **ETMP4-P4-24** : **«** Pour moi un métier d'ingénieur est de savoir prendre la bonne décision avec l'information incomplète. »

[8] Le LEMME est le Laboratoire d'Etudes des Méthodes Modernes d'Enseignement, ancienne dénomination du DIDIST

[9] On utilisera indistinctement le terme ingénieur et technicien supérieur, parce qu'on parle de compétences professionnelles communes (Cartonnet, 2001) voir paragraphe 2.1.1 de l'état des lieux

> **ETMP4-P4-26** : « Le simulateur permet de se familiariser avec un environnement de travail, ça veut dire qu'il laisse l'étudiant libre de manipuler […]. S'il se pose des questions il va avoir des réponses, […] tout ça fait que quand il aura à chercher des réponses pour une question pour laquelle il n'y a pas de données de base… le type qui donne une réponse après avoir développé un algorithme, ce n'est pas un bon ingénieur, donc, par contre, celui qui est capable de fournir la réponse a priori »

Les extraits des entretiens suivants portent sur les objectifs et sur les modalités de mise en œuvre du simulateur en situation de formation. Lors de l'entretien, le concepteur P4, chargé de la conception technique et qui n'assure pas des cours avec l'outil, refuse de répondre aux questions portant sur la mise en œuvre de l'outil, en se justifiant ainsi : (ETMP4-P4-26) « Donc, comme je ne l'utilise pas dans la formation, les objectifs je ne sais pas… ». Nous travaillerons donc avec les réponses fournies par P1.

En ce qui concerne les possibilités pédagogiques du simulateur, P1 fait référence à une utilisation autonome de la part des étudiants, leur permettant de s'adapter à leur niveau et de « retourner » en cas de doute :

> **ETMP1-P1-30** : « Du point de vue pédagogique l'objectif c'était de donner plus d'autonomie à l'étudiant. Actuellement sur la machine on est très directif. Comme ça coûte trop cher la machine si on la tape, après la réparation ça coûtait très cher. […] avec ce genre de simulateur on pouvait leur dire la méthode générale et après il existe différentes méthodes pour se rendre compte que finalement de tout cela qu'on propose à l'usage, c'est cela qui marchait bien. […] Comme ça on leur donne davantage d'autonomie et ensuite un outil qu'ils puissent utiliser eux quand ils veulent, quand ils n'ont pas compris tout, pour qu'ils puissent réessayer, c'était ça l'objectif. »

Par rapport aux objectifs didactiques, P1 explicite avoir les mêmes objectifs qu'avec une machine outil, et évoque une raison économique :

> **ETMP1-P1-32** : « Je veux pas plus qu'avec la machine outil. Notre idée : ils devaient acquérir les mêmes savoirs avec le simulateur qu'avec la machine. Si on passe un peu plus de temps avec eux dans la machine réelle, ils vont arriver à acquérir les mêmes savoirs, simplement c'était un point de vue beaucoup plus comptable que didactique […]. Donc du point de vue didactique on cherche pas à avoir mieux, je sais pas si on aurait mieux je me rends pas compte, j'ai pas de recul, on cherchait à avoir un peu pareil mais pour moins cher. »

A propos de la mise en œuvre :

> **ETMP1-P1-34** : « Moi mon idée, on doit voir à l'usage, utiliser le simulateur pour apprendre de la machine : pourquoi l'interface, pourquoi mettre le réglage de base. Après ils passent sur la machine et s'il y a des choses, ils peuvent éventuellement revenir sur le simulateur. Le simulateur, tel qu'il est actuellement, je le voyais juste comme une entrée en matière, une introduction à la machine. […] »

Concernant les limites de l'outil :

> **ETMP1-P1-36** : « Avant le simulateur, on leur a expliqué les bases de la CN, pour savoir comment ça se comporte : qu'est que c'est un axe, qu'est que c'est la norme, comme ça bouge, un petit peu de code…On a la partie théorique et après le TP pour qu'ils touchent vraiment ce qu'ils ont appris en cours, surtout les choses très pratiques. Il nous semble que c'est très intéressant de faire une partie courte et après tout de suite d'aller mettre la main pour voir vraiment comment ça se passe, pour sentir des problèmes. Parce que je pense que sur ce genre de choses, si la personne n'est pas confrontée aux problèmes, elle ne s'en rend pas compte. Quand on est devant un écran, ça marche toujours bien, il faut aller sur la machine pour se rendre compte qu'il y a toujours plein de choses qu'on n'avait pas pensées. Vous avez un problème de montage, là ça vibre, là c'était en panne, là on va pas y arriver parce qu'il touche…Enfin, c'est en travaillant sur la machine qu'on se rend compte des problèmes. Et ça, par contre, le simulateur je sais pas comment il peut le prendre en compte. Dans ma tête, le simulateur, il ne remplacera jamais la machine parce que la machine… et je vois pas trop comment le simulateur pourrait

> le transcrire, au moins dans un premier temps… Je veux pas être trop négatif parce qu'on voit qu'ils font les simulateurs d'avions, on voit bien qu'ils peuvent bien retranscrire ce que le pilote voit. Donc, est-ce qu'on fait pareil avec la machine ? Mais dans un premier temps je vois pas comment retranscrire quand la machine vibre… je vois pas comment on va s'en sortir. »

L'entretien se révèle donc intéressant quand sont abordées les questions sur les objectifs pédagogiques et didactiques du simulateur. Ainsi, une raison économique apparaît au cœur du projet, et une conception de reproduction de la réalité émerge, marquée par une préoccupation liée au manque de simulateurs capables de reproduire une véritable opération d'usinage. D'un point de vue pédagogique, les objectifs, au départ, étaient d'accorder davantage d'autonomie aux étudiants, et la possibilité de leur permettre de commettre des erreurs pendant la formation. Sur simulateur, une véritable erreur est possible alors que sur machine cela devient très coûteux. Du point de vue de l'acquisition des connaissances, l'objectif visé consiste, selon les concepteurs, à acquérir les mêmes compétences que sur machine malgré le fait qu'ils expriment des opinions limitant cet objectif.

Cette conception de la formation relève :

- d'une part, d'une « philosophie réaliste » de la simulation (Pastré 2006) : le rôle du simulateur est de se substituer au réel.
- d'autre part, d'une culture propre à l'enseignement de la technologie : le simulateur sert à travailler les compétences utiles dans la pratique.

Cette conception montre cependant quelques caractéristiques singulières. Les concepteurs considèrent en effet qu' « une expérience sur machine ne pourra jamais être remplacée par le simulateur». Ils considèrent donc la formation sur simulateur simplement comme un entraînement, comme une introduction permettant ensuite de travailler sur machine. Ils pensent également le simulateur comme un outil adapté à tous les niveaux de formation, car il fonctionne comme une machine. Cette conception du simulateur relève d'une philosophie pleine échelle, de réalité augmentée, permettant un transfert des compétences entre le simulateur et la machine, avec une visée difficile à atteindre mais qui se voudrait proche de celle des simulateurs de vol. Mais cette conception rentre en contradiction avec l'incapacité de reproduire le réel, en termes d'échelle, de bruit, de faisabilité technologique.

Enfin, pour les concepteurs, il est important de prendre en compte la portabilité du simulateur et la possibilité de l'utiliser avec tous les systèmes d'exploitation informatique avec une visée d'industrialisation (pas de commercialisation) du simulateur.

1.5.2 LA MISE EN ŒUVRE DU SIMULATEUR EN SITUATION DE FORMATION

Dans cette partie, le regard est porté sur les modalités de mise en œuvre du simulateur dans la situation de formation. Nous avons interrogé deux acteurs de la formation : les enseignants P1 et P2 sur la manière d'introduire les problématiques relatives aux compétences en jeu pour les étudiants, pendant les cours. La raison d'un deuxième entretien avec P2 est d'élargir l'analyse avec les réponses d'un autre enseignant qui possède un rôle moins important (que P1) dans le projet Mouv.

Un premier extrait montre l'organisation de cours effectué par P1 :

> **ETPCP1-23** : « Le cours se réfère d'abord aux machines outils en règle générale parce qu'il y a des normes de fonctionnement pour la machine outil et toutes les machines fonctionnent sous les mêmes normes. Dans les cours on l'a abordé autour de la norme en disant : on se place dans ce cas et la machine fonctionnera dans ce cas-là. Et après généralement, je passe sur la machine outil particulière, en règle générale, celle qu'on a dans l'atelier pour qu'il n'y ait pas d'ambiguïté pour les étudiants et celle qu'on utilise dans le simulateur ce sont celles de l'atelier qu'on a modélisées. »

P2 organise les premières séances d'introduction à la machine outil autour de la mise en fonctionnement, il explique les principes généraux de l'organisation qu'il met en place :

> **ETPCP2-20** : « ça dépend des étudiants, puisque les étudiants que j'ai en TP ce sont des étudiants de licence trois, donc qui n'ont pas déjà rencontré les machines outils. Et pour ceux qui les ont vues, ils n'ont pas forcement intégré complètement la façon dont elles fonctionnent. Donc plusieurs objectifs, l'objectif de la première séance est de leur expliquer comment ça fonctionne, de façon très simple, avec la partie […] mécanique de la machine, et puis la partie commande, comment les deux interagissent, et du coup, comment fonctionne une machine : ça c'est le premier objectif. Le deuxième objectif de la première séance, ça va être à partir de tout ça de leur expliquer le réglage à faire sur une machine pour pouvoir la mettre en œuvre. Donc la première séance s'articule généralement en deux temps ; le premier temps on fait un petit tour sur la machine pour leur expliquer comment ça marche, de tableau mais très peu, et très vite ensuite on les met sur la machine et on les fait réfléchir à travers un questionnement TP sur le réglage à effectuer pour que la machine puisse fonctionner, parce qu'on a vu précédemment et sur l'utilisation du clavier. Donc là, il y a une utilisation du simulateur, parce que le simulateur permet d'effectuer ce réglage là, un petit peu sur simulateur, un petit peu sur machine, et les autres (*il se réfère à l'autre moitie du groupe*) à l'inverse, passent sur la machine et puis passent sur le simulateur. »

Nous allons limiter l'analyse à ces deux extraits, se rapportant à la mise en œuvre du simulateur et au réglage de la machine.

P1 fait pointe l'importance de se référer à la même machine (au sens de la même marque), quand les étudiants passent d'une situation de formation avec simulateur à une situation de formation avec machine. Il s'agit d'une perspective de la formation pleine échelle, dans laquelle le simulateur permet un entraînement préalable à l'utilisation de la machine.

P2 dans son discours, exprime la mise en œuvre d'un questionnement Travaux Pratiques (TP) sur le réglage à effectuer.

Ces entretiens ont permis de mettre en évidence des voies différentes : celle portée par P1, dans laquelle la formation avec simulateur relève d'un entraînement, et donc la conception de l'outil comme pleine échelle est cohérente avec la conception de la formation. Celle avec P2,

enseignant non engagé dans le développement du simulateur qui montre une formation basée sur un questionnement TP.

Le cahier de TP a été élaboré par P1, et utilisé par P1 et par P2 lors de la séance de formation avec simulateur pendant les cours[10]. Dans celui-ci sont présentés deux modes d'emploi différents, en fonction du niveau de maîtrise de l'utilisateur. Sont données les consignes de la séance :

> « Le but de ce TP est d'apprendre à l'utilisateur la mise en œuvre d'un centre d'usinage muni d'une interface NUM. La machine virtuelle utilisée représente le centre Graffenstaden CU 60 avec une commande NUM760F de l'atelier commun UPS/INSA. Mais les procédures décrites ici sont généralisables » (Extrait du cahier, voir annexe 3 document 7).

Le concepteur a choisi alors de poser une situation problème (dans le sens des didactiques disciplinaires) dans laquelle plusieurs concepts doivent être mobilisés. Le problème à résoudre est posé en termes d'un calcul vectoriel :

> «On considère que l'origine mesure Om est matérialisée par l'intersection entre l'axe Z et le plan de jauge dans le cône de la broche. L'origine pièce Op est choisie sur le montage comme représentée sur la figure. Le palpeur utilisé a une longueur de 199,34 mm et un rayon de 4,99 mm. Calculer le vecteur ***OmOp*** (vecteur **PREF** en langage NUM) » (Extrait du cahier, voir annexe 3 document 7).

La procédure, qui est décrite par la suite, consiste à régler le point d'origine mesure (POM) et à calculer le vecteur **PREF**. Toute cette procédure correspond au moment du réglage initial de la machine. Dans cette situation problème, plusieurs concepts pourraient être mobilisés, comme par exemple la relation de Chasles, ou le mouvement relatif des solides rigides en translation. On passe donc d'une consigne de mise en oeuvre, qui est de l'ordre de l'entraînement, à une mise en place effective d'une situation problème.

Les observations au vol de deux séances de formation, avec P1 et avec P2 comme enseignants, permettent de relever deux éléments.

1 Un premier élément correspond à un épisode ayant lieu dans la séance de formation avec P1 enseignant. Un étudiant travaille avec le simulateur, sans réussir à le mettre en fonctionnement. L'enseignant P1 lui propose de faire comme « dans la réalité », et l'étudiant n'arrive toujours pas à le mettre en œuvre. Alors P1 lui demande de l'accompagner à l'atelier (situé à côté de la salle d'informatique où se situent les simulateurs), et d'allumer « à nouveau » la machine. Cette fois-ci, l'étudiant réussit. P1 lui dit : « dans le simulateur c'est la même chose ». Cet épisode finit avec une répétition de la mise en fonctionnement sur simulateur effectuée par l'étudiant avec l'aide de l'enseignant P1.

[10] Ce « cahier » de TP est disponible dans l'annexe 3, document 7.

A nouveau, le rôle sous-jacent du concepteur P1, qui durant les séances d'enseignement essaie de « convaincre » les étudiants de la vraisemblance entre le simulateur et la MOCN. Cet épisode permet aussi de mettre en exergue deux niveaux d'utilisation du simulateur :

- un premier relève de la compréhension du problème posé par le questionnement TP,
- un deuxième, est à mettre en relation avec les différentes procédures permettant la mise en fonctionnement de la machine ainsi que la résolution du problème posé.

2 Le deuxième élément est caractérisé par des obstacles liés à la situation didactique avec simulateur (obstacles didactiques). Nous en avons identifié deux : la fermeture de la porte et l'arrêt d'urgence. Ces obstacles apparaissent uniquement lorsque les étudiants manipulent le simulateur. Nous ne les avons pas identifiés lors de l'utilisation des machines.

1.5.3 DISCUSSION DES RESULTATS DE L'ETUDE EXPLORATOIRE ET OUVERTURE

Dans cette étude exploratoire deux questions étaient posées : quelle « philosophie » de conception de l'outil ? Pour quel type d'enseignement ?

Nous avons utilisé un cadre théorique original pour une étude dans le champ didactique. L'entrée par les identités professionnelles était justifiée par la relation avec la pratique professionnelle des enseignants.

Un premier constat : les concepteurs (P1 et P4) envisagent une conception du simulateur permettant une utilisation équivalente à une machine. La conception d'un simulateur pleine échelle relève d'une approche technocentriste, propre à un élément identitaire lié à la technologie. En effet, la philosophie réaliste s'est développée avant l'émergence de la didactique professionnelle, dans des secteurs très spécifiques, avec un postulat :

> « Un simulateur était d'autant plus performant qu'il reproduisait le plus fidèlement possible le dispositif technique qu'il devrait simuler. A la limite, le meilleur simulateur était celui qui était en tous les points identique au réel à simuler, sauf… ce qu'on pourrait appeler l'effet de réel. Car le simulateur le plus fidèle d'une centrale (nucléaire) ne produit que des mégawatts virtuels » (Pastré, 2006, p 79)

Concernant les problèmes liés à la mise en œuvre et aux « effets du réel », nous les avons analysés à travers des entretiens avec concepteurs (P1 explicitait une certaine conscience des limites sur la pleine échelle) et des observations de classe.

Relativement à la question du type d'enseignement, les concepteurs avaient envisagé des objectifs pédagogiques en relation à l'utilisation du simulateur en formation. Celui-ci était ainsi censé permettre une formation moins chère, et donner une certaine autonomie aux

étudiants, qui pouvaient ainsi diversifier les voies pour résoudre le problème posé et utiliser le simulateur en dehors des heures de cours pour s'entraîner.
Par rapport aux objectifs de la formation, les concepteurs (notamment P1) envisagent l'acquisition des mêmes compétences qu'avec une machine outil à commande numérique, ce qui relève à nouveau d'une philosophie pleine échelle. On peut cependant relever deux difficultés dans l'utilisation des simulateurs pleine échelle au regard de la formation initiale visée.
La première est relative au rôle possible que pourrait tenir un formateur au moment du débriefing : instructeur ? animateur? Le coût de la formation semble difficile à assumer dans ce cas, puisque le débriefing exige des compétences spécifiques en ergonomie, en termes d'analyse de l'activité (dans ce cas des apprenants).
La deuxième concerne les types de savoirs et les situations visées. Un simulateur pleine échelle parait certainement mieux adapté pour l'entraînement à des situations critiques, voire dangereuses et peu probables, situations non ciblées dans une formation initiale ayant pour but d'introduire le réglage d'une MOCN.

Nous pensons que la conception d'un simulateur est indissociable de la réflexion menée sur la situation de formation, car le simulateur doit être pensé comme un instrument[11] d'aide à l'apprentissage. Le choix de conception du simulateur doit être donc compatible avec la conception de l'apprentissage. Les concepteurs semblent privilégier une conception de l'apprentissage par l'exercice d'une activité constructive (Pastré 2005), et par la mise en œuvre d'une situation problème issue du contexte professionnel. Le simulateur à résolution de problèmes semble davantage adapté aux besoins d'apprentissage de la situation de formation initiale technologique supérieure étudiée. Des raisons d'ordre économique, et le choix des situations d'enseignement ont été énoncés.

Avant d'avancer dans la réflexion théorique, il semblait essentiel de clarifier l'entrée épistémologique de la recherche, qui désormais privilégiera un simulateur de résolution de problèmes. Il est maintenant nécessaire de poursuivre par une analyse des situations de travail. Un simulateur de résolution de problèmes demande en effet une analyse exhaustive du contexte professionnel, d'où sont originaires les problèmes qui serviront de référence. Il faut également poursuivre les réflexions par une analyse des obstacles didactiques générés par le simulateur en situation de formation.

[11] Le concept d'instrument au sens de Rabardel (2005) est défini dans le chapitre du cadre conceptuel

Résumé du chapitre 1 : étude exploratoire

Ce premier chapitre consacré à l'étude exploratoire a pour objectif l'analyse des motivations des enseignants-chercheurs en génie de la production industrielle lors de la conception d'un simulateur de MOCN pour la formation.

Cette étude exploratoire a permis une analyse des identités professionnelles des acteurs de la formation supérieure et son influence sur leurs pratiques professionnelles:
- comme concepteur d'un simulateur : la pratique d'un enseignant chercheur en production industrielle est proche d'un ingénieur dans l'industrie et oriente le simulateur vers une logique pleine échelle,
- comme enseignant : privilégie la mise en œuvre d'une situation problème
Cette réflexion permet de poser l'entrée épistémologique de la présente recherche, qui désormais s'intéresse à la mise en œuvre d'un simulateur de résolution de problèmes, dans laquelle l'analyse du travail occupe une place centrale.

Dans le chapitre suivant, nous détaillerons dans l'état des lieux les deux thèmes qui interagissent dans l'étude de la relation entre le contexte professionnel de la production industrielle; et le contexte de la formation technologique supérieure, avec une approche disciplinaire. Un troisième thème relatif aux situations de formation avec simulateur fait le lien entre les deux contextes.

Chapitre 2 : Etat des lieux

CHAPITRE 2

ETAT DES LIEUX

2.1 Les apports de la didactique de la technologie : le contexte de la formation technologique supérieure
2.2 Les apports de la didactique professionnelle : les théories d'apprentissage
2.3 Les apports de la didactique professionnelle : l'analyse du travail pour la formation
2.4 Vers L'élaboration d'un cadre conceptuel

Dans ce chapitre, l'état de lieux de recherches est abordé en prenant en compte l'objet de la présente recherche. Dans une première partie, on présente les éléments théoriques de la didactique de la technologie. Une deuxième partie s'intéresse aux apports de la didactique professionnelle, concernant les théories de l'apprentissage. Lors de la troisième partie, l'état des lieux sur l'analyse du travail en didactique professionnelle prend sa place, justifié par l'idée sous-jacente à la conception du simulateur de résolution de problèmes. Enfin, la quatrième partie présente les éléments théoriques permettant d'analyser la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation en articulant les deux perspectives.

L'objectif de l'état des lieux est de présenter les différents concepts théoriques de cette recherche.

La présente recherche s'intéresse à la relation entre le contexte professionnel et le contexte de la formation technologique supérieure. L'état des lieux parcourt les différentes approches didactiques en relation avec cet intérêt. Les apports didactiques sur la discipline, la technologie, concernent l'organisation des enseignements - les savoirs, le curriculum - et le contexte universitaire technologique, caractérisé par la conception de ses formations et les modèles d'université. Une spécificité est mise en avant : le contexte de la formation technologique supérieure entretient des rapports privilégiés avec le contexte professionnel. La didactique professionnelle s'intéresse également aux situations professionnelles. Ses apports sont introduits en relation avec les théories de l'apprentissage (la théorie de la conceptualisation dans l'action) et avec les travaux sur l'analyse des situations professionnelles. Ces derniers concernent aussi le développement des simulateurs. Ce champ didactique s'inscrit actuellement plutôt, mais sans exclusive, dans la formation continue. L'articulation entre les deux perspectives didactiques, disciplinaire et professionnelle, constitue la perspective théorique adoptée par cette recherche.

2.1 LES APPORTS DE LA DIDACTIQUE DE LA TECHNOLOGIE ET LE CONTEXTE DE LA FORMATION TECHNOLOGIQUE SUPERIEURE

Il s'agit ici de s'intéresser à la formation technologique. Mais pour cela, nous abordons d'abord le concept de technologie, et ceux associés de technique et de technicité.

Technologie

Le terme de technologie est polysémique. Viard (1995) a effectué un état de l'art des différentes acceptions et propose une définition fonctionnelle : « la technologie a pour objet la conception, la réalisation et le maintien en état de fonctionnement des ensembles d'objets techniques ». Viard pose ainsi une définition dans laquelle « la technologie s'intéresse au produit de la technique, l'objet technique lui-même défini principalement par la fonction qu'il réalise, et non à la technique elle-même » (ibid. p 60). Cela permet en effet de distinguer ces deux termes, technologique et technique.

Technique

Deux définitions de la technique peuvent être proposées ; la première, historique, la deuxième plutôt structurale.

D'un point de vue historique, Gagnepain et André (1996, p 92) définissent la technique comme étant au départ constituée d'un savoir empirique permettant la combinaison de gestes

et d'outils. L'évolution de la technique selon ces auteurs est liée à la lutte pour la vie. Quand celle-ci est moins problématique, « il y a la place pour la pensée » (Ibid., p 92), ce qui permet de constituer un savoir. C'est ainsi que ces auteurs définissent l'évolution de la technique par des petits sauts.

Vérillon (1998), a caractérisé la technique dans son acception de « réalités individuelles : telle ou telle technique » (Ibid. p 6), et décrit son caractère organisé, opératoire, anticipatoire et cognitif.

Formation et enseignement technologique

Nous nous intéressons ici aux termes de « formation » et d'« enseignement ». La formation se réfère plutôt aux situations d'enseignement dans lesquelles il existe une relation avec la pratique professionnelle, dans des cadres qui peuvent être spécifiés : par exemple la formation initiale, la formation continue, la formation en alternance, etc. L'enseignement est davantage lié à l'action de transmettre des contenus dans le cadre d'une institution scolaire (Pineau, 1994, pp 437-441 ; Reuters et al., 2007, pp 95-98).

La notion d'institution est prise ici sous l'acception développée par Chevallard (2003, p 83) en s'inspirant de Douglas. L'institution est selon Chevallard « un dispositif social « total » […] qui permet et impose à ses sujets, [. . .] la mise en jeu de manières de faire et de penser propres ».

Les institutions auxquelles nous nous intéressons dans cette recherche sont :

- Le Centre Universitaire de Formation et de Recherche (CUFR) de Champollion,
- L'équipe de production du Laboratoire de Génie Mécanique de Toulouse (LGMT),
- Deux classes (avec des étudiants expérimentés et avec des étudiants apprentis) dans le CUFR

D'un point de vue didactique, nous parlerons de formation technologique quand il s'agira de faire référence à l'institution de formation, et d'enseignement technologique pour se référer aux modalités de transmission des savoirs. Nous avons aussi décidé de respecter tout au long du texte, la terminologie employée par les auteurs.

Nous considérons la technologie en tant que discipline d'enseignement et nous abordons l'état des recherches sous un regard didactique. Dans un premier temps, la construction des savoirs et des curriculums est atteinte par une approche didactique à caractère épistémologique. Et par la suite, le regard didactique se pose sur le contexte de la formation universitaire, avec une caractérisation de la technologie et du modèle d'université.

2.1.1 REGARD DIDACTIQUE SUR LES ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES

L'universitarisation de la didactique des enseignements technologiques a eu lieu dans les années 90 (Lebeaume & Cartonnet, 2003). Les pôles d'intérêt des recherches ont été recensés par Vérillon (1998) : la réalité disciplinaire et curriculaire, l'étude de la sphère technique dans une perspective de transposition, l'étude des fonctionnements des systèmes didactiques, concernant les interactions savoir-élèves. Dans le contexte universitaire technologique, Cartonnet (2000) étudie la formation de concepteurs de produits industriels. Il signale (Ibid., p 5) qu'une approche centrée sur les problèmes techniques abordés par les acteurs en formation[12], permet d'élargir la réflexion aux techniciens supérieurs et aux ingénieurs indistinctement. Telle sera la perspective adoptée dans la présente recherche.

Les paragraphes qui suivent portent d'abord sur la construction de savoirs par les ingénieurs et techniciens supérieurs, et ensuite, sur la façon d'inscrire ces savoirs dans la formation supérieure, à travers l'élaboration de curriculums.

2.1.1.1 Regard sur la construction des savoirs

La technologie a été jusqu'au XVIIe siècle, écartée de toute possibilité du développement comme les autres disciplines, à cause d'une conception de la pensée savante monopolisatrice de toute forme de pensée, héritée de l'époque des grecs et qui aurait négligée un discours savant portant sur les techniques (Vérillon, 1998, p 6). Cet auteur différentie deux sources de savoirs pour la technologie enseignée :

- Une première source constituée par « les élaborations savantes » (Ibid., p 10) concernant les techniques de l'industrie, provenant des différentes approches, considérées comme une source élaborée de façon externe aux acteurs de la discipline.
- Une deuxième source prend en compte les savoirs élaborés, de manière interne, par les acteurs de la technique : « la parole, le savoir des artisans, ouvriers, ingénieurs, architectes…, leur genèse, leurs modalités d'existence, d'évolution, de conservation, de transmission » (Ibid., p 11).

Vérillon (1998) insiste sur le fait que ces acteurs de la technique « ont très peu et très récemment formulé par écrit ce qu'ils savaient » (Ibid., p 11), et pointe ainsi l'apport indispensable de cette source extrinsèque pour le développement de la technologie.

[12] Effectivement, Cartonnet (2001, p 5) propose d'aborder le « traitement des problèmes techniques, et [de laisser] de coté les problèmes socioéconomiques. Cela permet de couvrir aussi bien les activités des techniciens que celles des ingénieurs. L'intersection des deux ensembles d'activités de ces populations est le traitement des problèmes techniques ».

Dans ce sens, Cartonnet (2000) a proposé un outil d'organisation des connaissances techniques nécessaires aux activités de conception, et utilise un modèle appelé PYSTILE comme cadre d'analyse des documents techniques publiés, permettant d'analyser les avances et besoins dans la formalisation des écrits scientifiques.

Notre travail de recherche consiste à étudier la construction des savoirs des ingénieurs, par des enseignants chercheurs au sein d'une institution universitaire. Dans cette perspective nous rendons explicite les savoirs élaborés par les acteurs de la technique, les ingénieurs.

Concernant l'origine des savoirs relatifs à la technique, Vérillon (1998) explique qu'une des conséquences de l'exclusion de la technique des discours savants dans l'histoire, est le développement des « modalités d'existence et de reproduction propres » (Ibid., p 10). Dans une relecture de W.G. Vicenti (1992), Vérillon (2001), met en avant cette idée, en affirmant que cette évolution des savoirs techniques, indépendants des savoirs scientifiques, mérite qu'elle soit étudiée selon d'autres modèles. C'est le défi des didacticiens des disciplines technologiques.

Gagnepain et André (1996) pointent une dichotomie entre une « science causale ouverte sur le monde de l'artificiel et (une) science de la nature impliquée dans l'approfondissement de la connaissance » (Ibid., p 94). Les deux visions devront être complémentaires ; à travers l'association des savoirs théoriques (provenant de la recherche en sciences de la nature) et de l'action (Ibid., p 97).

Sous le même angle, Vidal-Gomel et Rogalski (2007, p 61) établissent les différences entre la production des savoirs par la science et la technologie. Ainsi, les deux ont pour objet la réalité, mais alors que la science a une visée : « le monde est objet à connaître », pour la technique, le monde est « objet à utiliser » (Ibid., p 61).

Le développement des savoirs relatifs à la technique, est également lié au système économico-social. Vicenti (1992) retient de Laudan (1984) quatre sources permettant l'évolution cognitive de cette discipline et Gagnepain et André (1996, p 95) explorent aussi les éléments à l'origine du cycle des évolutions ou révolutions technologiques. Nous pouvons mettre en relation les éléments évoqués par tous ces auteurs :

Tableau 2 : Les différentes raisons d'évolution des savoirs relatifs aux techniques

D'après Laudan (1984), raisons du développement cognitif	D'après Gagnepain et André (1996), raisons du développement de la technologie avec la science
L'échec fonctionnel de la technique actuelle	L'apparition d'une connaissance rationnelle ou empirique qui déclenche la créativité.
L'extrapolation à partir du succès d'une technique ancienne	L'amélioration d'un objet artificiel grâce à la science et en fonction de l'expression d'un besoin.

Le déséquilibre entre techniques existantes	La diffusion du produit et du concept dans l'ensemble de la technique existant
L'anticipation d'échecs potentiels de techniques actuelles	Un épuisement des réservoirs de connaissances sur le sujet imposant un ressourcement par la science.

Ce tableau, met en évidence le lien entre la construction des savoirs et le contexte professionnel industriel. Laudan (1984) relève les causes du développement cognitif de la technique sous une perspective applicationnelle : ainsi, la technique appliquée produit des échecs (réels ou possibles), des déséquilibres. La résolution des ces échecs constitue une source potentielle de développement, de même que par exemple l'extrapolation à partir des techniques existantes. La perspective de Gagnepain et André (1996) est historique et évoque dans le développement des savoirs, les rapports que la technologie entretient avec la science, la créativité et les besoins (sociétaux) sont au cœur de leur discours.

Afin de compléter cette perspective, il convient d'interroger les modalités de construction de ces savoirs. Comme l'affirme Vérillon (1998), ceux-ci se sont développés de façon autonome, et trouvent leur source dans l'industrie. Comment alors se construisent-ils ? Et comment se construisent-ils dans le contexte universitaire ?

Martinand (1996) propose la notion de modèle qui pourrait répondre, au moins partiellement à cette question. Le modèle est décrit par ces caractéristiques : son caractère hypothétique, modifiable et sa pertinence vis-à-vis de certains problèmes dans certains contextes. Cet auteur envisage deux exigences pour conduire à modéliser :

- Une visée technique qui consisterait à réaliser une réduction opératoire, permettant de dégager la fonction du système technique.
- Une visée scientifique, qui mène à un modèle explicatif d'une loi.

Cette notion de modèle et son rôle dans l'élaboration des savoirs dans le contexte technologique sont abordés dans le cadre théorique.

L'analyse historique de la construction des savoirs techniques a permis d'avancer vers la compréhension des difficultés de développement et de reconnaissance de cette discipline technologique. La suite s'intéresse à ces savoirs au sein des institutions de formation, à travers les différents travaux sur la construction de curriculums en technologie.

2.1.1.2 Regard sur la construction de curriculums

Dans la continuité d'une perspective didactique, la compréhension de l'organisation des savoirs techniques dans les institutions de formation s'avère indispensable.

Premier constat : ces savoirs sont élaborés à partir des problèmes issus du contexte professionnel industriel (échecs de la technique actuelle, possibilités potentielles, etc). Cela pose en aval, d'un point de vue didactique, la question de la référence, travaillée notamment par Martinand (1981-2003). Cet auteur (2003), pointe le besoin d' « expliciter la signification de choix (de pratique de référence) dans la conception, l'essai et l'évaluation de projets d'enseignement ». La pratique sociale de référence (Martinand, 1981) permet de prendre en compte, « non seulement les savoirs en jeu, mais les objets, les instruments, les problèmes et les tâches, les contextes et les rôles sociaux » (Martinand, 2003). Les pratiques sociales peuvent servir de référence à des pratiques scolaires (Reuter et autres, 2007, p 181). Cela semble pertinent dans le contexte universitaire technologique, et en particulier, dans les situations de formation pratique qui visent l'acquisition de certaines compétences. Selon Martinand (2003) il est nécessaire de prendre en compte et d'étudier des écarts entre les activités de formation et celles prises pour référence et dans ce sens d'établir les conditions de cohérence, ou de relever les choix des pratiques.
Ces travaux, ont permis de construire les curriculums en technologie. La notion de curriculum peut être considérée ici comme un ensemble comportant les objectifs de la formation, les directives concernant les formes du travail didactique, les contenus et les moyens permettant l'évaluation (Calmettes, 1996). Cet auteur, a étudié le décalage entre un curriculum formel ou prescrit et un curriculum réalisé[13].

Dans le cas du curriculum formel dans la formation universitaire, les acteurs responsables de l'élaboration du curriculum (et de sa mise en œuvre), sont les mêmes que ceux impliqués dans le processus d'élaboration des savoirs. Ceci est une spécificité de l'enseignement supérieur et constitue un des objets d'étude de la présente recherche. La noosphère[14] (Chevallard, 1985,1991) est composée par des enseignants chercheurs, responsables à la fois de l'élaboration du curriculum au sein de leur institution, de sa mise en œuvre dans la situation de formation et d'assurer l'évolution des savoirs dans leur discipline.

[13] Cette distinction a été introduite par Perrenoud (1990), afin de différencier un curriculum qui serait la base structurante d'origine institutionnelle, constitué par le descriptif des programmes et des moyens, méthodes et outils permettant la construction des activités de classe, et un curriculum réalisé, constitué par les expériences des apprenants et de l'enseignant.

[14] Le terme de noosphère a été introduit par Yves Chevallard (1985/1991). La noosphère est définie par Chevallard comme une institution qui appartienne à un système d'enseignement (une autre institution), est constituée par «l'ensemble des acteurs intervenant à l'intersection du système d'enseignement et de la société […]. Elle apparaît comme un lieu important du processus de transposition didactique : c'est là que s'effectue la sélection, dans le savoir savant, d'un savoir à enseigner et de sa transformation en objet d'enseignement » (Reuters et autres, 2007, p 149).

Quelques travaux ont été menés sur l'étude des curriculums dans l'enseignement supérieur. Un résultat met en évidence l'importance de la pertinence des choix de contenus vis-à-vis de la pratique sociale de référence. Prudhomme (1999) a montré comment un type d'analyse (fonctionnelle) enseigné à des étudiants dans le supérieur, n'est pas utilisé pendant le stage en entreprise, mais ces étudiants l'utilisent par la suite pour satisfaire aux exigences de leur maître de stage à l'université.

En relation aussi avec cette notion de pratique sociale de référence, Cartonnet (2000) envisage un double regard didactique dans le cas de l'enseignement pratique dans le supérieur. Un étudiant dans une situation de Travaux Pratiques (TP) doit mobiliser les savoirs appartenant à un domaine conceptuel déterminé mais « il doit également apprendre le « métier » de technicien de laboratoire d'essai. Et alors, cela nécessite l'apprentissage de la maîtrise d'une situation de mesures expérimentales, sur un banc d'essais » (Ibid., p 26).
En ce qui concerne les objectifs de la formation technologique supérieure, toujours en relation avec la pratique sociale de référence, et dans le cas de l'enseignement supérieur, Cartonnet (2000) indique que penser la formation technologique consiste à former les étudiants à la technicité, en tant qu'« aptitude à concevoir, à réaliser, à utiliser des associations des connaissances, toutes éprouvées par la pratique, aptitude inséparable d'un comportement favorable à la compréhension et à l'emploi des techniques » (Combarnous, 1984).

2.1.2 LE CONTEXTE UNIVERSITAIRE TECHNOLOGIQUE

Le regard didactique se pose maintenant sur le contexte de la formation supérieure, afin de mettre en avant ses spécificités. D'abord, une caractérisation de la formation technologique en contexte universitaire est exposée, à travers deux approches qui ont comme dénominateur commun d'envisager la formation technologique :

1. Une première approche, portée par Cartonnet s'intéresse à l'enseignement de la technicité chez les étudiants.
2. Une deuxième approche, portée par Rabardel, milite pour un changement d'optique dans la formation technologique et plus largement, propose de repenser la conception de la technologie.

Ensuite, une brève présentation des différents modèles d'université, permet de caractériser la formation technologique supérieure dans l'ensemble du contexte universitaire.

2.1.2.1 Caractérisation de la formation technologique en contexte universitaire

Afin de développer la conception de la formation technologique dans le contexte universitaire français, le point de départ est la définition de technicité comme « la capacité humaine à créer un agencement », Cartonnet (2000, p 8). Les travaux développés par cet auteur, portent sur l'enseignement de « cette technicité chez l'élève concepteur » (Ibid. p 8).

Cette approche était déjà partagée par Viard (1995), qui s'intéresse à la notion d'éducation technologique en reprenant la définition de la COPRET[15] (1986). La finalité de l'éducation technologique est envisagée par cet organisme comme «compréhension, appropriation des démarches de conception, étude, fabrication, essais, utilisation de produits techniques (objets techniques matériels, organisation d'information en vue d'un but déterminé) ».

Cartonnet (2000) part de la définition des composantes de la technicité, données par Combarnous (1984) :

[…] La technicité résulte de la réunion permanente de trois composantes :

- Une composante d'apparence philosophique, la rationalité dans sa forme particulière de réflexion technique.
- Une composante d'apparence matérielle, l'emploi d'engins, comme intermédiaire entre des volontés et des actions.
- Une composante d'apparence sociologique, les spécialisations des individus et des groupes d'exécution de tâches coordonnées » (Ibid., pp 22-23).

L'interaction des ces trois composantes, correspond selon Cartonnet (2000) à une définition de technicité. Cet auteur envisage alors un enseignement technologique qui garantit une tension entre la rationalité et la spécialisation. Pour lui, « l'emploi d'engins », deuxième composante de la technicité décrite par Combarnous (1984), est garantie par l'utilisation dans la conception, des systèmes CAO[16] et dans la fabrication, par les machines outils.

Cette tension entre rationalité et spécialisation, se traduit par une formation « à deux capacités : celle de généralisation et celle de particularisation » (Cartonnet, 2006, p 88).

La généralisation est liée à la rationalité incluse dans la technicité. Cela consisterait à être capable de généraliser des objets et systèmes techniques à travers un schéma conceptuel[17]. Cartonnet (2000) alerte cependant sur les risques de former à une rationalité trop universelle, ou de « choisir la raison scientifique pour guider la conception » (Ibid., p 10). La

[15] COPRET est la COmmission Permanente de Réflexion sur l'Enseignement de la Technologie
[16] CAO : Conception Assistée par Ordinateur
[17] La réflexion proposée par Cartonnet qui lie les composantes de la technique avec un projet d'enseignement, sont mises en relation avec la notion de registre de technicité de Martinand dans l'articulation proposée dans le cadre conceptuel (voir paragraphe 3.1.3)

particularisation vient alors faire le contrepoids, à travers une spécialisation qui permettrait à un jeune formé « d'exercer une responsabilité individuelle mais qui devra évoluer avec les changements du champ technique » (ibid., p 10). Cette particularisation est aussi professionnalisante, puisqu'elle « permet d'accéder à la technicité constitutive de la référence professionnelle choisie » (Cartonnet, 2006, p 89). Pour comprendre la construction d'un projet éducatif qui prend en compte la technicité, Martinand (1994) développe en didactique de la technologie la notion de registre de technicité[18]. Celle-ci permet d'établir les objectifs de formation en relation avec la pratique sociale choisie comme référence pour le projet éducatif.

Rabardel (1995, p 11) développe une autre approche, avec une perspective anthropocentrique des techniques au sein des formations technologiques et professionnelles. Selon cet auteur le rapport des formés avec les systèmes techniques[19] est d'usage, puisqu'« ils ne seront que marginalement, voire jamais insérés dans des processus de conception institutionnels » (Ibid., p 9). Rabardel présente d'abord les limites d'une approche anthropotechnique, qui marginalise l'homme par rapport au système technique et réclame ensuite une perspective complémentaire : l'approche anthropocentrique des techniques. Cet accès, est caractérisé par sa théorisation autour de la notion d'instrument. L'instrument est défini en s'opposant au terme d'objet technique, trop anthropotechnique. Rabardel (1995), pour distinguer les deux expressions propose la notion d'artefact dans son acception en anthropologie : « toute chose ayant subi une transformation d'origine humaine, même minime.» (Ibid., p 10). Ainsi de cette première acception, cet auteur élargit sa théorie vers la définition d'instrument :

> « Comme une entité mixte qui tient à la fois du sujet et de l'artefact. L'instrument comprend dans cette perspective : un artefact matériel ou symbolique produit par l'utilisateur ou par d'autres ; un ou des schèmes d'utilisation associés résultant d'une construction propre ou de l'appropriation de schèmes sociaux préexistants».

L'instrument est donc au cœur d'une conception des enseignements technologiques anthropocentriques, qui méritent d'être prise en compte lors de la conception des enseignements technologies.

Dans le cadre de la formation technologique universitaire, le modèle d'université joue un rôle important par rapport à la conception des enseignements technologiques. Les différents modèles existants sont présentés par la suite.

[18] Afin d'éviter les répétitions, cette notion est définie lors du cadre conceptuel, voir paragraphe 3.1.3.

[19] L'utilisation du terme système technique à la place d'objet technique s'appui sur la complexité atteinte des objets techniques dans l'actualité (Cartonnet, 2000) et qui peuvent être abordés comme un ensemble fonctionnel constitué des éléments interconnectés.

2.1.2.2 Dans quel modèle d'université s'inscrit la formation technologique ?

Dans le vaste univers des modèles universitaires qui cohabitent dans le monde, Lessard et Bourdoncle (2002, p 133) retiennent trois conceptions : l'université libérale, l'université de recherche et l'université de service.

L'université libérale est caractérisée par ces auteurs (2002, pp 135-139) dans une perspective de l'éducation libérale où le savoir est désintéressé (Ibid., p 135). La définition actualisée de l'éducation libérale sur laquelle ils s'appuient comporte une dimension intellectuelle et morale, avec une conception plus personnelle, rationnelle et critique (Ibid. p 136). Le refus de la formation professionnelle dans ce modèle s'appuie d'abord sur la tradition universitaire médiévale. Celle-ci « établissait une forte dichotomie entre le travail intellectuel et le travail manuel, les savoirs théoriques et les pratiques artisanales » (Ibid, p 137). Un deuxième argument, évoqué par Ricœur (1968) et encore actuel, envisage une mission de l'université consistant à répandre une culture générale permettant de suivre les avancements culturels et de la recherche, « cette mission va, jusqu'à un certain point, en sens contraire du souci, proprement professionnel, d'adaptation aux besoins du pays en cadre dirigeants » (Ricoeur, 1968 ; Lessard et Bourdoncle, 2002, p 137).

La conception de *l'université de recherche* se matérialise en France dans les hautes écoles (Lessard et Bourdoncle, 2002, p 139). Trois caractéristiques résument cette conception.

- La première caractéristique renvoie à sa mission première : la recherche de la vérité. Le moyen pour l'atteindre est la recherche scientifique (Ibid., p 139).
- La deuxième repose sur ces deux principes éthiques et épistémologiques : l'autonomie des étudiants pour choisir leurs parcours et l'autonomie des chercheurs pour choisir à la fois, les objets de recherche et les sujets d'enseignement (Ibid., p 139).
- Enfin, la troisième caractéristique découle des deux premières: l'enseignement et la recherche sont indissociables ; « la recherche est essentielle pour l'enseignement universitaire, […] et inversement, l'enseignement est essentiel à la recherche et au progrès de la science » (Ibid., p 139).

En ce qui concerne la place de la formation professionnelle dans ce modèle, les auteurs (2002) trouvent une parenté entre les deux formations, universitaire et professionnelle : « leur engagement commun dans la recherche scientifique » (Ibid., p 140).

Enfin, la troisième conception renvoie à *l'université de service*, ancré dans la culture nord-américaine, « au service non pas de la vérité, ou de la science, mais de la société en général et

d'une société particulière » (l'américaine), (Lessard et Bourdoncle, p 142). La formation professionnelle dans ce modèle implique « une formation intellectuelle, non pas au niveau des détails techniques, qui passent ou qui s'oublient, mais au niveau des principes généraux et de la manière de les appliquer » (Ibid., p 143). Elle est une forme d'éducation parmi d'autres, en concordance avec le modèle.

Lessard et Tardif (2006) analysent ces trois modèles d'universités qui peuvent cohabiter : le modèle de l'éducation libérale, l'université en tant que communauté de chercheurs vouée à la recherche scientifique libre et fondamentale et l'université au service du progrès social ou le savoir utile. Ces modèles coexistent actuellement dans diverses institutions. Les auteurs explicitent les rapports entre les modèles des universités et le contexte professionnel sous un angle sociologique, en tenant compte des enjeux de complémentarité et d'opposition des modèles. Parmi les tensions possibles, ils repèrent celles opposant la culture générale et la spécialisation professionnelle, la tradition et l'innovation, la rigueur et la pertinence. Ces auteurs notent également que ces dialectiques sont complexes, puisque parfois opposent des intérêts.

L'approche d'université professionnelle dépend aussi de la discipline concernée par cette université. Dans le contexte de l'université technologique supérieure, Decomps et Malgaive (1996, pp 57-63) ont abordé la professionnalisation dans l'enseignement à partir d'une approche historique de la formation des ingénieurs en France. Ils signalent trois couplages :

1. Connaissances théoriques et activités professionnelles. Ce premier couplage correspond à la première conception des formations des ingénieurs. Aujourd'hui, « le titre d'ingénieur ne se décerne plus au terme d'un cursus purement théorique » (Ibid., p 59)
2. Introduction des connaissances technologiques. Ce deuxième couplage s'établit entre connaissances théoriques et connaissances technologiques. Dans ce sens, les auteurs réclament l'apparition des sciences pour l'ingénieur en opposition aux sciences fondamentales. Les sciences pour l'ingénieur négocient en permanence un compromis entre innovation et faisabilité pratique.
3. La montée des connaissances méthodologiques qui concernent notamment des procédures d'action plus ou moins normalisées et des comportements. Ces auteurs revendiquent la place de celles-ci dans une culture générale tournée vers l'action.

Aux couplages cités et selon Decomps et Malgaive (1996, p 61), il manquerait un élément essentiel pour garantir la professionnalisation : le savoir pratique.

> « Le savoir pratique devient le principe même de l'alchimie des compétences, transformant des connaissances qui resteraient « livresques » à l'issue d'une formation purement scolaire en connaissances « opératoires » parce que devenus outils pour l'action » (Ibid., p 62)

La question des spécificités disciplinaires dans la conception d'un modèle d'université (ou la cohabitation de plusieurs) est ainsi posée. Elle constitue un élément de problématisation de la présente recherche.

2.1.3 VERS DES ELEMENTS DE PROBLEMATISATION

Trois mots clés permettent de parcourir cette partie: didactique, formation supérieure et technologie. La technologie est étudiée en tant que discipline, d'abord avec une vue historique, permettant de relever les raisons de son faible développement. Une approche épistémologique analyse ensuite l'élaboration des savoirs au sein de la technologie. Enfin, différents travaux ont permis de mettre en évidence les rapports étroits entre les choix des contenus et la pratique sociale de référence (Martinand, 1981).

Les objectifs d'une formation technologique supérieure sont abordés en relation à une technicité (Cartonnet, 2000) et/ou à envisager avec une approche anthropocentrique de techniques (Rabardel, 1995). Celle-ci fera le contrepoids à l'approche anthropotechnique, à travers une genèse instrumentale promotrice d'une formation plus pertinente au regard des étudiants.

Dans l'ensemble des travaux que nous avons revisités, nous pouvons relever quelques éléments de problématisation :

- Le premier fait référence à la relation entre le choix de contenus d'enseignement et la pratique sociale de référence dans le cadre d'une formation technologique supérieure. En effet, dans ce contexte précis, la pratique sociale de référence est une pratique professionnelle, ce qui permet de penser avec Cartonnet (2000) qu'un double regard didactique (disciplinaire et professionnel), est nécessaire pour l'élaboration des contenus.
- Le deuxième est lié à l'approche épistémologique, et implique les acteurs chargés d'élaborer les savoirs. Il semblerait qu'une spécificité des formations technologiques supérieures ferait participer les acteurs à la fois, à l'élaboration des savoirs, à l'élaboration de curriculums et à sa mise en œuvre en situation de formation.

2.2 LES APPORTS DE LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE : LES THEORIES D'APPRENTISSAGE

Nous nous intéressons maintenant aux situations de formation[20].

Cette partie est consacrée à l'approche de la didactique professionnelle. La didactique professionnelle, dans ses premiers écrits, cherche à se distinguer des didactiques disciplinaires (Pastré, 2005 ; Pastré et Vergnaud, 2008). On abordera, les ruptures et les filiations entre les deux didactiques : professionnelle et disciplinaire. Une autre théorie développée au sein de la didactique des mathématiques, celle des champs conceptuels (Vergnaud, 1990), sera présentée comme source de la théorie de la conceptualisation dans l'action (Pastré, 1992, 1999), développée au sein de la didactique professionnelle. Quelques exemples d'analyse des situations de formation avec simulateur compléteront cette illustration.

A travers toutes ces approches, nous tentons de faire ressortir des éléments de problématisation concernant l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques dans des situations de formation avec simulateur informatique.

2.2.1 APPROCHE DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE

Les réflexions développées par la didactique professionnelle seront exposées pour deux raisons :

- Afin d'analyser les relations entre la didactique professionnelle et les didactiques des disciplines.
- Parce que la didactique professionnelle permet l'analyse des situations de formation, d'un point de vue théorique (théorie de la conceptualisation dans l'action) et d'un point de vue méthodologique (notamment pour les situations de formation avec simulateur).

[20] Nous utiliserons le terme situation de formation, pour nous référer à la situation didactique, objet d'étude des didacticiens, dans un contexte particulier : celui de la formation universitaire. La situation est définie par Brousseau (1988, p 314) comme étant « une relation entre une interaction et une connaissance engagée dans le jeu […] ».

2.2.1.1 Ruptures et filiations entre didactique de disciplines et didactique professionnelle

La didactique professionnelle a comme objectif l'étude du développement des compétences chez les apprenants en situation de formation. Elle a longtemps mis en avant son intérêt pour les situations plutôt que sur les savoirs. Récemment, par les problématiques qu'elle aborde, la didactique professionnelle se rapproche des didactiques disciplinaires et certains chercheurs en didactique professionnelle ont caractérisé les ruptures et les filiations entre les deux approches.

Commençons par les ruptures :

Les objectifs sont différents : selon Munoz (2006) (d'après Samurçay et Pastré (1998)), en didactique professionnelle les objectifs sont d'ordre pragmatique et en didactique des disciplines d'ordre épistémique. Vergnaud (2008) élargit cette posture à la question de la référence. Pour lui les caractéristiques d'un métier sont différentes de celles d'une discipline et donc les problématiques abordées sont aussi différentes.

L'organisation de la formation est différente, d'après Pastré (2005)

> « On se pose toujours le problème de savoir autour de quoi est organisée une formation. Elle peut être organisée autour de savoirs. La logique de construction consiste alors à construire un ordre d'apprentissages qui permet d'assimiler les connaissances, en allant du simple au complexe, ou des concepts fondamentaux aux applications et inférences qu'on peut en faire. Par contre la formation peut être organisée autour des situations représentatives d'un métier. Dans ce cas, c'est la situation qui est principe organisateur et qui amène à faire appel, en tant que de besoin, c'est-à-dire de manière assez opportuniste, à des connaissances appartenant à des domaines variés, et qui ne mobilisent pas forcement l'ensemble de chaque savoir disciplinaire. » (Ibid., p 6)

Munoz (2006) analyse les textes de Pastré (1999) et identifie une troisième rupture liée aux *objets d'étude*. Pastré (1999) distingue l'origine des objets des deux disciplines : dans la didactique professionnelle, les objets relèvent des champs de pratiques, alors que dans les didactiques des disciplines, ils relèvent des champs conceptuels. Faudra t-il spécifier quelles disciplines, puisque dans la technologie, les activités physiques et sportives, l'informatique, etc les objets relèvent parfois des deux champs en même temps. Pastré indique dans sa réflexion qu' «une situation n'est pas entièrement réductible au problème qu'elle porte» (Ibid, p 27). Dans ce sens, il note que l'intelligence des situations englobe l'intelligence conceptuelle, qui devient ainsi un outil pour le diagnostic de la situation. Pastré (1999) ajoute que le lien entre situation et conceptualisation est central et cela permet, selon Munoz (2006), de se rapprocher d'une situation didactique.

Le souci de rapprochement entre la didactique professionnelle et les didactiques des disciplines est relativement récent. Munoz (2006) signale que si la dette de la didactique

professionnelle envers les didactiques des disciplines a été reconnue très tôt, les éléments en commun ont été peu caractérisés. A travers les différents écrits, issus des recherches en didactique professionnelle, nous avons identifié trois éléments en commun :

- *La relation génétique* (Munoz, 2006). « La didactique professionnelle intègre dans son cadre théorique les éléments centraux de Piaget et Vygotski sur le développement cognitif[21] » (Rogalski, 2004).
- *La centration de l'apprentissage sur les situations* et *la forme opérative et prédicative* de la connaissance.

Ces deux éléments sont mis en relation par Vergnaud (2008):

> « […] les apprentissages académiques et professionnels concernent tous deux la connaissance, sa forme opératoire et sa forme prédicative, […]. Dans les situations qui ont une finalité explicite d'apprentissage, les individus n'ont pas d'autre voie, pour apprendre, que de s'adapter à ces situations et de développer de nouvelles formes d'organisation d'activité, comme ils le font dans la vie quotidienne lorsqu'ils sont confrontés à des situations nouvelles. » (Ibid., p 51).

On poursuit maintenant avec les éléments théoriques autour de la notion d'apprentissage et de la Conceptualisation dans l'Action.

2.2.1.2 L'apprentissage

La notion d'apprentissage développée par Pastré, s'inscrit dans une théorie plus large qui est la théorie de la conceptualisation dans l'action et constitue l'objet du paragraphe suivant.

Pastré (2007, p 83) identifie le doublet savoir-connaissances comme objet porteur de l'action, en utilisant la distinction empruntée à Brousseau (1998)[22]. Il revendique (Pastré, 2007, p 90) une position centrale de la médiation (et donc du rôle de l'enseignant) dans le processus d'apprentissage, et s'inspire de Vygotski (1995 [1934]) dans la considération de l'apprentissage comme « un mouvement qui permet de passer de l'externe à l'interne […] du savoir considéré comme un patrimoine au savoir considéré comme une ressource interne » (Pastré, 2007, p 90). Il est important pour cet auteur, de comprendre la dialectique établie entre les éléments du doublet savoir-connaissance dans le processus d'apprentissage, qui

[21] Dans ce sens, Rogalski (2008, p 237) signale comment « l'articulation des cadres théoriques de Piaget et Vygotski enrichit une approche développementale constructiviste sur les acquisitions conceptuelles et sur la formation et l'évolution des compétences, en précisant les convergences sur le développement, quant à ces facteurs, sa temporalité, et au rôle des instruments psychologiques cognitifs ».

[22] Le savoir est un ensemble d'énoncés validés par une communauté scientifique ou professionnelle, il a donc une dimension objective. Les connaissances représentent les ressources cognitives dont dispose un sujet. Elles possèdent donc une dimension subjective. (Brousseau, 1998)

aboutirait « quand le savoir-artefact[23] est transformé en savoir-instrument (au sens de Rabardel), c'est-à-dire, intériorisé par le sujet et intégré à ses schèmes ».

Dans la considération de l'apprentissage comme une activité, Pastré (2007, pp 83-84) lui confère cinq caractéristiques :

- peut concerner une activité (apprentissage professionnel) ou un savoir (apprentissage scolaire) (Ibid., p 83).
- « ne consiste pas à accumuler des savoirs mais à configurer ou reconfigurer ses ressources cognitives » (Ibid., p 83).
- est une activité de conceptualisation. La conceptualisation étant pratiquement invisible et interne, on peut la saisir par ses résultats exprimés par la résolution et par la justification des problèmes (Ibid., p 83).
- est lié à la transmission d'un patrimoine. La dimension sociale d'un savoir va être transmise en fonction des constructions que les humains effectuent de ces savoirs (Ibid., p 83).
- combine une activité productive (qui transforme le réel, et devient le moyen), et une activité constructive (par laquelle le sujet se transforme en transformant le réel et qui est le but dans l'apprentissage). La tâche sert de support à l'activité productive qui constitue l'apprentissage. L'apprentissage fonctionne ainsi selon deux registres : pragmatiques et épistémiques, qui seront explicités par la suite (Ibid., p 83).

2.2.1.3 La conceptualisation dans l'action

La théorie de la conceptualisation dans l'action a été développé au sein de la didactique professionnelle (Pastré 1992, 1999, Samurçay et Pastré, 1995 et autres), afin d'«étudier les représentations, les raisonnements, les stratégies des […] (opérateurs) dans une perspective de […] formation au sens plus large ».

Cette théorie s'est inspirée au départ de la théorie opératoire de Piaget (Pastré, 1999). Deux propositions ont été retenues : la première affirme que l'action est une connaissance autonome ; la deuxième avance que la prise de conscience est un véritable travail de conceptualisation. Pastré (1999) insiste sur l'importance de la première proposition en affirmant que « la conceptualisation est à l'œuvre dès le moment de la coordination agie » (Ibid., p 15). Il met l'accent sur l'importance des apports de Vergnaud : la notion de schème et

[23] C'est ainsi que la distinction entre savoir patrimoine et savoir intériorisé par le sujet est intégrée dans la théorie instrumentale de Rabardel.

ses composants analytiques. Celle-ci a été développée dans le cadre de la théorie des champs conceptuels. Très brièvement, cette théorie a pour objectif de

> « Fournir un cadre qui permette de comprendre les filiations et les ruptures entre connaissances, chez les enfants et les adolescents, en entendant par connaissances aussi bien les savoirs faire que les savoirs exprimés. » (Vergnaud, 1990, p 135)

En effet, pour Vergnaud, comme nous l'avions indiqué dans le paragraphe 2.2.1, les sujets organisent leurs actions en fonction des situations qu'ils rencontrent et auxquelles ils doivent faire face. Vergnaud (1990) introduit la notion de schème comme :

> « L'organisation invariante de la conduite pour une classe de situations donnée. C'est dans les schèmes qu'il faut rechercher les connaissances en acte du sujet, c'est-à-dire les éléments cognitifs qui permettent à l'action du sujet d'être opératoire » (Ibid., p 136)

Un autre apport de cette théorie est l'introduction de l'analyse (Pastré, 1999) qui permet de distinguer les composantes d'un schème. Le concept de schème permet de comprendre le passage entre les deux registres de la connaissance : le registre épistémique et le registre pragmatique (Pastré, Mayen, Vergnaud, 2006). Ces deux registres présents dans la connaissance ont utilisés la Théorie de la Conceptualisation dans l'Action.

La connaissance dans sa forme prédicative, permet «d'identifier dans le réel les objets, des propriétés de ces objets, des relations entre ces objets et ces propriétés » (Ibid., p 158). Dans sa forme opératoire, la connaissance permet de prélever des informations dans le réel et d'adapter l'action. Il faut souligner que ces deux formes cohabitent au sein de la même structure du cognitif (Ibid., p 158). Dans son application dans un domaine concret d'activité, les deux formes de connaissances vont s'exprimer selon deux registres de conceptualisation :

1. Le registre épistémique « a pour but de comprendre, en identifiant dans une situation donnée, ses objets, leurs propriétés et leurs relations [… La conceptualisation consiste] à identifier les relations de détermination qu'on peut établir entre les principales variables constitutives du système» (Ibid., pp 159).
2. Le registre pragmatique « a pour but la réussite de l'action […], dans le cas de la conceptualisation, (elle) va avoir pour but d'établir une sémantique de l'action […] et donc à relier les prises d'information sur la situation au répertoire de règles d'action disponibles » (Ibid., pp 159)

Pastré (1999) relie ces registres épistémique et pragmatique et reprend la distinction de l'ergonomie entre tâche (externe au sujet, objectif) et activité (point de vue du sujet, subjectif) afin d'introduire la notion de structure conceptuelle de la situation.

Ainsi, dans la prise en compte du domaine d'activité, « pour le registre pragmatique, on pourrait faire la différence entre la « structure conceptuelle d'une situation » d'une part et le « modèle opératif » d'autre part », (Pastré, 2008, p 15). La structure conceptuelle est définie, « du point de vue de la tâche et pour une situation donnée, comme l'ensemble de concepts

organisant l'action et servant à la guider » (Pastré, Mayen, Vergnaud, 2006, p 159). Du point de vue de l'activité, la notion de modèle opératif « désigne la représentation que se fait un sujet d'une situation dans laquelle il est engagé pour la transformer » (Ibid., p 160).
Dans le registre épistémique, les équivalents de la structure conceptuelle d'une situation et du modèle opératif sont le « savoir portant sur un domaine » et le modèle cognitif qui « désigne la représentation qu'un sujet se fait d'un domaine en termes d'objets, de propriétés et de relations, […] » (Ibid., p 160).
Par la théorie de la conceptualisation dans l'action, on peut étudier l'évolution des modèles opératifs et cognitifs et les articulations entre eux, dans une démarche d'apprentissage.

2.2.1.4 Caractérisation des situations de formation avec simulateurs

Dans cette partie, nous caractérisons la formation avec simulateurs informatiques et nous nous limitons aux simulateurs développés avec une démarche inspirée de la didactique professionnelle.
L'apprentissage par simulation est un apprentissage par l'action et par les situations de travail (Pastré, 2005). La simulation permet la reproduction (partielle) d'une situation professionnelle, avec une certaine fidélité, qui permet un apprentissage applicable à la situation prise comme référence. Nous parlons de reproduction partielle, même si comme l'affirme Leplat (2006) : « la situation de simulation […] a des caractéristiques propres qui achèvent de modifier le contexte de travail » (Ibid., p 38).

Samurçay (2005) développe un modèle pour étudier le fonctionnement des situations de formation avec simulateur. Elle met en lumière un double processus de médiation entre d'une part le sujet et la situation, et d'autre part entre le sujet et l'instructeur. Elle distingue deux moments dans la médiation effectuée par l'instructeur : la transposition, en tant que transformation de la situation de référence, et la gestion des situations.

Pour Pastré (2005), les simulateurs ont été développés initialement avec une philosophie réaliste, en cherchant la fidélité maximale avec la situation de référence. La didactique professionnelle a ensuite permis d'envisager le simulateur comme « un instrument qui va servir de support à une activité » (Ibid., p 79). L'activité qui résulte permet un apprentissage qui a d'abord été visé par la simulation, par ajustement de la situation de référence : « Dès lors, on peut concevoir un simulateur qui retiendra principalement un aspect de l'activité, l'aspect sur lequel on va provoquer l'apprentissage » (Ibid., p 80). Les simulateurs de conception permettent de simuler les étapes intermédiaires du développement d'un produit.

2.2.2 ELEMENTS DE PROBLEMATISATION

Le principal élément de problématisation consiste à articuler la didactique professionnelle avec les didactiques des disciplines. La didactique professionnelle s'est intéressée certes aux situations didactiques ; mais celles-ci avaient lieu dans des conditions différentes de celles dont il est objet dans ce travail : formation initiale technologique. Un des éléments de problématisation consistera donc à prendre en compte une approche didactique professionnelle, centrée sur les situations professionnelles, et l'articuler à une approche disciplinaire, dans laquelle les savoirs mis en jeu sont étudiés.

2.3 ETAT DES LIEUX : L'ANALYSE DU TRAVAIL POUR LA FORMATION

Dans la sphère scientifique actuelle, l'approche par l'activité constitue une entrée privilégiée pour les sciences humaines et sociales. Elle permet l'élaboration des outils théoriques et des méthodes transdisciplinaires, profitables pour la recherche et les praticiens des différents champs correspondants (Barbier, 2003).

Très brièvement, nous retiendrons la définition, qualifiée de fonctionnelle, du concept d'activité, présentée par Leontiev (1977) : « toute activité a trois faces : la motivation, le but et l'accomplissement ». Cette définition renvoie aux dimensions présentes dans la Théorie de l'Activité du même auteur: la dimension de l'activité, celle de l'action et celle des opérations.

- L'activité est liée à la motivation, aux mobiles et besoins des individus (Savoyant, 2005).
- La dimension de l'action correspond au moyen pour exécuter l'activité. Ainsi, les auteurs en ergonomie identifient l'action réalisée avec la tâche, que Leplat (1993) définit comme le but à atteindre dans des conditions déterminées.
- Quant aux opérations, Leontiev (1977) les définit comme les méthodes pour réaliser les actions.

Dans la perspective ergonomique, l'analyse de l'activité professionnelle est centrale. Le but d'une démarche dans ce travail, consiste à étudier des situations didactiques, inspirées du contexte professionnel, à l'aide de la simulation. En effet, dans une approche basée sur la didactique professionnelle « l'analyse du travail est orientée par l'objectif de constituer un milieu, qui va servir de support à l'apprentissage » (Pastré, 2005, p 80).

Dans l'état des lieux sur l'analyse du travail pour la formation, nous présentons d'abord les enjeux théoriques dans la perspective de la didactique professionnelle. Ensuite, les concepts et les méthodes de l'ergonomie de langue française sont mobilisés. Nous limiterons l'exposé au

lien entre la formation et l'ergonomie, et aux méthodes proposées par celle-ci. Enfin, des résultats de recherches, rejoignant l'analyse du travail d'opérateurs d'usinage et (pour) le développement de simulateurs, servent à illustrer les différentes méthodes employées dans des recherches dont l'intérêt est proche du nôtre. Pour clôturer cette partie, des pistes pour la construction d'une problématique en relation avec l'analyse du travail pour la formation sont annoncées[24].

2.3.1 L'ANALYSE DU TRAVAIL EN DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE

La didactique professionnelle donne une place privilégiée à l'analyse du travail. Elle a hérité de l'ergonomie cognitive les concepts et méthodes de l'analyse du travail. Cependant, la réflexion théorique développée au sein de la didactique professionnelle lui confère une certaine autonomie par rapport à l'ergonomie. En effet, la visée didactique portée par la didactique professionnelle, la dote d'une vigilance épistémologique concernant la compréhension des situations d'enseignement/apprentissage. On peut signaler notamment la perspective d'étude du développement des compétences chez le sujet agissant, plus focalisée sur la dynamique du développement que sur la situation de travail (Pastré, 2005).

L'intérêt de l'analyse du travail dans une perspective de didactique professionnelle est présenté par le parcours historique de la discipline. Ensuite, les points de convergence et de divergence entre la didactique professionnelle et l'ergonomie sont abordés et les débats autour des concepts partagés par les deux disciplines. Cela permet d'illustrer l'enrichissement de la réflexion théorique en didactique professionnelle.

2.3.1.1 L'importance de l'analyse de l'activité en didactique professionnelle

La didactique professionnelle s'est initialement nourrie de deux champs théoriques : l'ergonomie cognitive et la didactique des disciplines. Le champ de pratiques concerné correspond à l'enseignement professionnel et à la formation professionnelle continue (Pastré, 2008). L'objet sera ici de décrire sa relation avec l'ergonomie cognitive, ainsi que l'évolution des rapports entre les deux disciplines, notamment à travers le rôle de l'ergonomie cognitive dans les analyses du travail en didactique professionnelle.

En effet, l'intérêt d'une analyse du travail est déterminé par les objectifs et le contexte de la formation visée. Les objectifs visent un apprentissage orienté vers l'acquisition des

[24] Dans cette partie, le terme formation est utilisé puisque les acteurs ciblés sont des adultes en formation continue.

compétences. La légitimation des savoirs mis en jeu s'établit donc par rapport à sa pertinence dans l'activité professionnelle (Rogalski et Samurçay, 1994).

Nous pouvons en déduire que l'analyse du travail est à la didactique professionnelle ce que l'analyse épistémologique des savoirs est à la didactique des disciplines. Cette étape pointe la vigilance épistémologique des situations didactiques proposées.

Une analyse du travail pour la formation peut se décomposer en trois temps (Caens-Marty et autres, 2004).

- Le premier temps correspond à la «connaissance du domaine dans une logique d'exposition qui relève de la compréhension de l'objet ainsi que de la prescription de la tâche » (Ibid., p 2).
- Le deuxième temps s'intéresse à la «connaissance du domaine dans une logique d'action en situation par l'observation du travail effectif des professionnels experts » (Ibid., p 2).
- Le troisième temps satisfait « l'identification des écarts entre les compétences mobilisées dans la situation professionnelle de référence et les compétences en construction effectivement mobilisées dans les situations d'apprentissage existantes» (Ibid., p 2).

Toujours selon Caens-Marty (2005), ces trois temps peuvent être regroupés suivant deux objectifs ciblés par une analyse du travail, en particulier quand il s'agit de développer des simulateurs pour la formation. Le premier objectif, l'acquisition d'une connaissance relative à l'activité professionnelle regroupe les deux premiers moments. Le deuxième objectif, relatif au troisième moment énoncé, porte sur la recherche de situations modélisables d'un point de vue didactique.

2.3.1.2 Les convergences et les divergences entre didactique professionnelle et ergonomie

Les notions de l'ergonomie cognitive, empruntées par la didactique professionnelle pour analyser le travail, seront revisitées ici sous un regard critique. D'abord, les convergences théoriques entre les deux disciplines permettront de révéler les apports initiaux de l'ergonomie. Ensuite, la présentation des divergences émergentes, provoquées notamment par l'évolution de la didactique professionnelle, va permettre d'introduire les débats actuels autour des notions partagées par les deux disciplines. Les apports de l'ergonomie cognitive ont été énoncés par les précurseurs de la didactique professionnelle. Pastré, Mayen et Vergnaud (2006) ont établi les principaux apports empruntés à la psychologie ergonomique.

Le premier apport est la distinction entre tâche et activité, dû principalement à Leplat (1997). D'après Falzon et Teiger (1999), « la tâche est une prescription externe à l'opérateur. L'activité est ce qui est fait, ce qui est mis en jeu par le sujet pour réaliser la tâche» (Ibid, p 150). Cette distinction renvoie au caractère du réel de l'activité, qui « finit toujours par déborder la tâche prescrite » (Pastré, 2002, p 147). La réflexion de Rogalski (2003) met en commun ces éléments :

> « L'activité est ce que développe un sujet lors de la réalisation de la tâche : non seulement ses actes extériorisés, mais aussi les inférences, les hypothèses qu'il fait, les décisions qu'il prend, la manière dont il gère son temps. Une partie de l'activité est directement finalisée par la réalisation de la tâche, mais l'activité dépasse les actions sur « ce qui est à faire » (Ibid., pp 343-388).

La didactique professionnelle va effectivement ancrer théoriquement ses analyses du travail sur cette double distinction : d'une part à travers l'analyse de la tâche, et d'autre part à travers l'analyse des sujets en situation de travail.

Le deuxième apport (Pastré, Mayen, Vergnaud, 2006) est la dimension cognitive présente dans toute activité de travail. A travers la notion de structure cognitive de la tâche, Leplat incite à « dépasser l'opposition frontale entre travail prescrit et réel. […] Cela signifie que ce qui va définir la situation de travail ne se ramène pas uniquement aux modalités de la prescription, mais inclut aussi certaines dimensions objectives de la situation, qui vont orienter l'activité » (Ibid., p 147).

Le troisième apport se trouve dans la psychologie russe du travail. Il porte sur la distinction d'Ochanine (1981) entre image cognitive et image opérative. La première décrit un objet et ses propriétés. La deuxième retient de cet objet, les propriétés qui lui sont nécessaires dans l'action sur cet objet (Pastré, Mayen, Vergnaud, 2006). Cette distinction a permis de distinguer deux formes de conceptualisation, indispensables dans la théorie de la conception dans l'action. Cela sera abordé lors du cadre conceptuel de cette recherche.

Enfin, le quatrième apport fait référence aux travaux en psychologie ergonomique sur les situations dynamiques (Rogalski, 1995). Ces situations ont une dynamique propre le faisant évoluer même si les opérateurs n'agissent pas dans sa transformation.

L'essor de la didactique professionnelle depuis sa naissance dans les années 90, permet désormais d'identifier quelques divergences avec l'ergonomie cognitive. Ces divergences sont à l'origine de vifs débats scientifiques.

La première divergence touche au regard que chacune des disciplines porte sur l'apprentissage. En reprenant l'argumentation de Pastré (2004) :

> « L'ergonomie cognitive va analyser la manière dont s'ajustent des opérateurs et des situations, la didactique professionnelle va analyser comment se construisent, se déconstruisent et se reconstruisent

> les compétences professionnelles d'un opérateur, en ayant une prédilection pour l'analyse de toutes les situations de mutation, où les opérateurs doivent reconfigurer leurs compétences » (Ibid, p 7).

Cette divergence a marqué aussi la dimension didactique de la didactique professionnelle, en s'intéressant aux processus de développement et d'apprentissage des sujets en situation de formation.

Dans ce même sens, Mayen (2005) apporte une réflexion dans la voie des divergences:

> « la didactique professionnelle emprunte certes les méthodes d'analyse du travail à l'ergonomie, mais s'appuie sur un cadre théorique et méthodologique, celui de la conceptualisation dans l'action, qui va guider les méthodes d'analyse du travail (Clot et autres, 2005) ».

Les divergences dans les conceptions de l'analyse du travail en ergonomie et en didactique professionnelle, ouvrent des débats au sein de la didactique professionnelle, abordés par la suite.

2.3.1.3 Des débats vifs

Le débat se présente autour de deux problématiques.

La première problématique se construit autour des notions de tâche et d'activité.

Pastré (2008) part de la distinction effectuée dans le cadre théorique de l'ergonomie entre les termes travail prescrit et travail réel, tâche et activité et tâche prescrite et activité. Il dénote le risque de « réduire l'activité d'un opérateur à la tâche effective » (Ibid., p 7), ce qui entraîne une réduction de l'activité du sujet, ainsi qu'une démarche méthodologique pouvant prendre comme référence la tâche prescrite. Pastré (2008) propose une ouverture, qui consistera à développer une analyse de l'activité indépendamment de l'analyse de la tâche, et propose trois voies d'élargissement : le recours à l'expérience, la prise en compte de la singularité des actions et la notion d'activité discrétionnaire.

La deuxième problématique s'établit autour de la notion de tâche.

Ce terme renvoie selon Pastré (2008) à deux dimensions. La première dimension intéresse les ergonomes : c'est la prescription effectuée dans le monde industriel. La deuxième dimension porte sur les invariants présents dans une situation. Cette deuxième dimension, attire particulièrement l'attention des didacticiens, et rejoint la critique de Savoyant (2005) à l'élaboration des référentiels. Cet auteur énonce qu'une analyse de la tâche reste insuffisante pour comprendre le comment de l'action. Il propose la notion de situation (Mayen 2004), dans laquelle et sur laquelle le sujet agit. Selon cet auteur, la structure conceptuelle de la situation (Pastré 1999,2005) « permet d'organiser cet ensemble de tâches de la situation, en termes non pas d'organisation du travail mais d'organisation cognitive » (Ibid, p 130).

En effet, avec la structure conceptuelle de la situation, on se situe à un autre niveau d'abstraction, le niveau de la structure cognitive de la tâche ou, selon l'hypothèse de Rogalski à laquelle nous adhérons, de l'analyse épistémologique (des savoirs) traditionnelle en didactique (Pastré, 2008).

2.3.2 L'ERGONOMIE DE LANGUE FRANÇAISE : CONCEPTS ET METHODES

La didactique professionnelle est en partie héritière de l'ergonomie de langue française. Dans cette partie il s'agit d'aborder les concepts et les méthodes qui font le lien entre les deux disciplines. Tout d'abord, dans une première partie, l'ergonomie sera revisitée sous l'angle de la formation. Ensuite, lors de la deuxième partie, les méthodes d'analyse du travail seront énoncées.

2.3.2.1 Le lien entre ergonomie et formation

L'ergonomie est « l'étude scientifique des conditions (psychologiques et socioéconomiques) de travail et des relations entre l'homme et la machine »[25]. Selon Falzon et Teiger (1999), l'ergonomie a mis en avant deux objectifs : d'une part le confort et la santé des opérateurs, d'autre part l'efficacité du travail (en termes de productivité, qualité et fiabilité). Ces auteurs décrivent comment l'ergonomie a éludé la formation pendant longtemps. La raison se trouve dans la discordance qui pourrait s'établir si l'on adaptait l'individu au travail (à travers la formation), au lieu d'adapter le travail à l'individu. L'intérêt de l'ergonomie pour la formation a évolué, et elle s'intéresse actuellement aux phénomènes liés aux développements (Leplat, 2003).

Les principales modalités selon lesquelles l'ergonomie et la formation se sont historiquement rapprochées ont été explicitées par Falzon et Teiger (1999). Ces auteurs (Ibid, pp 154-158) ont relevé d'abord l'analyse du travail préalable à la formation. Puis diverses autres fonctions de l'analyse du travail : l'intervention ergonomique comme facteur de transformation des acteurs, ou l'analyse du travail comme outil de formation pour les formés. Ces deux exemples se fondent sur l'hypothèse que toute intervention en ergonomie, transforme le regard des acteurs sur leur propre travail. Enfin, une dernière perspective porte sur l'analyse du travail associée à l'activité réflexive et à la construction des savoirs.

[25] Définition du Petit Robert, Ed 2000

De toutes les approches citées, l'analyse du travail préalable à la formation est la plus adaptée à l'objet de la présente recherche. Ses concepts et ses méthodes font l'objet du paragraphe suivant.

2.3.2.2 Les concepts et méthodes de l'ergonomie en lien avec l'analyse du travail préalable à la formation

L'ergonomie de langue française offre un cadre général d'analyse de l'activité en situation du travail humain (Falzon et Teiger, 1999). Ce cadre est basé sur la conception de l'activité inscrite dans le triplet, réalisé par Leplat (2006) : « sujet-tâche-activité ». Cet auteur a développé en 1997, un schéma pour l'analyse de l'activité:

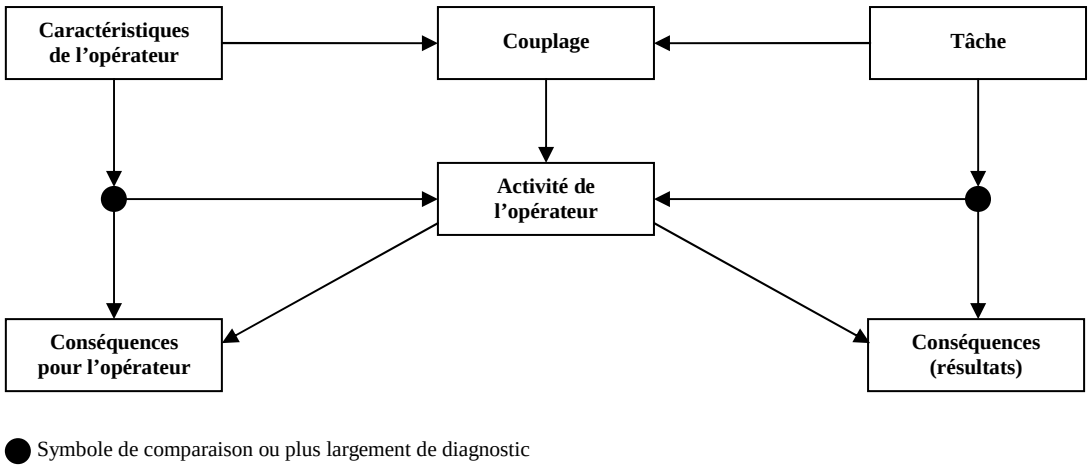


Figure 1 : Schéma général pour l'analyse de l'activité (d'après Leplat 1997)

Selon la lecture effectuée par son auteur (2006), le schéma représente une double boucle: « une boucle passe par les résultats extérieurs, l'autre par les effets sur le sujet » (Ibid., p 30). Leplat (2006) se centre sur l'explication de la boucle première, qui concerne les effets de performance liés à la tâche.

Falzon et Teiger (1999) expliquent le fonctionnement de ce schéma :

> « La tâche et les caractéristiques de l'opérateur sont à envisager conjointement. Afin de réaliser la tâche et en fonction de ses caractéristiques propres, l'opérateur va déployer une certaine activité. Cette activité produira deux effets : les effets de performance liés à la tâche et les effets liés à l'opérateur. Il est important de souligner ce dernier effet […] : par l'exercice du travail, l'opérateur acquiert de l'expérience et développe sa compétence, ceci tout au long de sa vie professionnelle» (Ibid, p 150).

Notre réflexion se situe autour d'une analyse du travail préalable à la formation. Leplat (2006) propose ici alors un autre triplet, dans lequel l'activité se trouve insérée comme dans le cas « sujet-tâche-activité ». Il s'agit maintenant du triplet « activité-analyse du travail-formation ». Dans ce triplet les termes aussi se codéterminent : la formation dépend de

l'activité (qui sert de référence pour former) et aussi de l'analyse effectuée sur cette activité. En même temps, et toujours selon Leplat, l'élaboration de cette formation va orienter l'analyse du travail qui va être faite et va aussi faire « émerger les traits pertinents de cette activité par rapport à ces conditions (données par la situation)» (Ibid, p 30).

L'analyse du travail préalable à la formation permet d'orienter l'utilisation des concepts et les méthodes de l'ergonomie vers une prise en compte du contexte de travail dans l'élaboration de la formation. C'est-à-dire, l'élaboration de la situation de formation marque la direction de l'analyse du travail qui devra être effectuée.

Si l'élaboration de la formation oriente l'analyse, les méthodes associées ont été définies par divers auteurs. Leplat (2006) sous l'horizon de l'analyse du travail préalable à la formation, énumère les différentes méthodes en partant de la formation envisagée. Il en décrit six:

- les formations décontextualisées,
- les formations par décontextualisation et recontextualisation,
- la formation par contextualisation structurée,
- la formation comme insertion dans un contexte social,
- décontextualisation et recontextualisation dans la simulation,
- analyse et coanalyse comme instruments de formation et la formation et intelligence du contexte.

Parmi les possibles, nous situons les analyses du travail, dans le cadre de la décontextualisation et de la recontextualisation, par l'étude des processus transpositifs ayant lieu dans un enseignement technologique à l'aide des simulateurs. Nous décrirons par la suite[26], les méthodes associées à cette approche décrite par Leplat : celle de la décontextualisation et recontextualisation.

2.3.3 DES EXEMPLES D'ANALYSE DU TRAVAIL : SUR L'ACTIVITE PRODUCTIVE D'USINAGE DE PIECES ET SUR LE DEVELOPPEMENT DE SIMULATEURS

Nous avons énoncé dans l'approche de la didactique professionnelle les différentes notions et les enjeux de l'analyse du travail pour la formation. Les concepts et les méthodes empruntés à l'ergonomie ont été choisis en référence à l'objectif de formation sous-jacent aux analyses du travail.

Nous centrons ici l'état des lieux des recherches sur des problématiques rejoignant notre intérêt : les analyses du travail dont l'activité est l'usinage mécanique sur des machines outils

[26] Voir paragraphe 3.3.2 d'état des lieux

à commande numérique (MOCN), mais nous élargirons l'objet aux machines outils conventionnelles et le développement des simulateurs pour la formation.

2.3.3.1 Les analyses du travail ayant comme objet l'activité d'usinage avec des machines outils

La littérature scientifique sur les analyses du travail ayant pour objet l'usinage sur des machines outils nous amène d'abord à la classification fonctionnelle de l'activité productive établie par Samurçay et Rabardel (2004). L'activité productive, ou activité de travail, a selon ces auteurs différentes fonctions, auxquelles ils assignent des caractéristiques propres en relation avec la situation d'usinage avec des machines outils conventionnelles :

1. Une fonction épistémique, dirigée vers la compréhension des situations de travail. Par exemple, quand l'opérateur contrôle l'évolution de l'usinage par différents indicateurs et l'utilisation de la mesure des tolérances sur la pièce finie.
2. Une fonction pragmatique, dirigée vers la transformation des objets de travail et l'utilisation des outils. Pour usiner une pièce, l'opérateur va d'abord lire le plan de pièce pour positionner la pièce, la fixer, faire l'outillage (régler les outils), et gérer les déplacements de l'outil avec les manivelles (dans une machine outil à commande numérique, cela correspond au lancement du programme).
3. Une fonction heuristique, dirigée vers le sujet lui-même. L'opérateur, va organiser son travail à travers la planification de l'usinage dans le temps de la journée et selon l'organisation de l'atelier et la disponibilité des machines, mais aussi pour éviter que son travail devienne lourd et fatigant.

La référence à une autre recherche, permettra d'approfondir les deux premières fonctions de l'activité énoncées ici. Cette recherche a été menée par Pastré (2004), dans le domaine du réglage de presse d'injection. Même si le domaine visé est autre, l'analyse du travail effectuée est transposable à notre contexte. Pastré décrit une analyse du travail qui débute par une caractérisation des étapes à franchir dans le cycle de fabrication du produit. Ensuite, cet auteur affirme « se représenter ce cycle de fabrication comme un schème[27] d'action matérialisé dans un dispositif technique » (Pastré, 2006, p 19). La conclusion sur l'analyse de l'activité du réglage de cette machine est qu'un opérateur effectue le diagnostic sur l'efficacité de son

[27] La définition du schème que nous retiendrons est celle donnée par Vergnaud (1990) : « Le schème est une organisation invariante de l'activité pour une classe de situations donnée. Il est formé nécessairement de quatre composantes : un but, des sous-buts et anticipations ; des règles d'action, de prise d'information et de contrôle ; des invariants opératoires : concepts en acte et théorèmes en acte et des possibilités d'inférence en situation.

réglage avec très peu d'informations. Sans pouvoir généraliser cette conclusion à notre analyse, on peut accorder une position intéressante à une analyse de l'activité qui s'intéresse aux éléments de diagnostic, pour mener une action efficace. Pastré (2006) dans le même texte, propose l'élaboration de la structure conceptuelle de la situation « noyau conceptuel qu'il faut prendre en compte pour que l'action soit pertinente et efficace ».

Les deux recherches illustrées par la littérature sur les analyses du travail, dont l'activité est proche de celle de notre recherche, permettent d'orienter les choix d'articulation du cadre théorique. L'analyse du travail menée ici abordera fondamentalement les deux premières fonctions de l'activité énoncées précédemment : les fonctions épistémique et pragmatique. La fonction heuristique ne semble pas fondamentale dans le cadre de notre recherche parce que le public de la formation ne partage pas la réalité professionnelle des opérateurs d'usinage.

2.3.3.2 Les analyses du travail ayant comme objectif le développement des simulateurs pour la formation

Nous abordons maintenant des exemples d'analyse du travail ayant comme objectif le développement des simulateurs pour la formation. L'idée centrale est que l'analyse de la situation professionnelle (de référence) permettra, par le biais d'une transposition, d'analyser un instrument de simulation (Pastré, 2004). Cet outil devra permettre la mise en scène de situations didactiques permettant de faire progresser les acquis des apprenants.

Leplat (2006) a relevé comme point central de ce type d'analyse la prise en compte du contexte. Pour cela, une première phase consistera à « décontextualiser une partie plus ou moins étendue de la tâche à faire exécuter » (Ibid, p 34). Cela permettra de centrer l'apprentissage sur cette tâche qui, lors d'une mise en scène didactique, devra être recontextualisée.

Une recherche s'inspire de cette méthode de décontextualisation et recontextualisation, menée par Boucheix (2004). Cet auteur développe des scénarios didactiques avec simulateur pour la formation des grutiers aux documents complexes. L'analyse du travail a dans ce cas l'objectif d' « identifier la nature des représentations fonctionnelles de la situation de travail de référence et des limites de transport de charge » (Ibid, p 137). Il porte sur trois types de données :

1. Des observations individuelles filmées dans la cabine de chaque grue, accompagnées de l'enregistrement des verbalisations concomitantes à l'action.
2. Des autoconfrontations de chaque grutier visionnant sa propre action

3. L'analyse des compétences des grutiers face au traitement des documents techniques, à partir de deux formats de représentation.

L'analyse des résultats détermine la structure générale de l'activité réelle en unités d'action et les règles d'action. Compte tenu des objectifs de cette recherche (aider les grutiers à apprendre à désincorporer une représentation intuitive), l'analyse du travail menée a permis d'établir les caractéristiques de la situation qui pouvaient être négligées et celles qui devaient être conservées.

Dans la perspective de la didactique professionnelle, d'autres recherches (Caens-Marty 2004, Jaunereau, 2005, Pastré, 2005) montrent une analyse du travail préalable basée sur l'élaboration de la structure conceptuelle de la formation et qui ont pour but le développement d'un simulateur. Un exemple porte sur le développement d'un simulateur de mise en culture de colza (Jaunereau, 2005). L'analyse du travail a porté sur des séries d'entretiens. Les résultats de chaque série d'entretiens ont servi de référence pour élaborer l'entretien suivant. Ce processus a débouché sur l'élaboration de la structure conceptuelle de la situation.

Dans les deux types d'analyses énoncées, l'analyse du travail préalable à la formation a permis l'élaboration des situations didactiques pertinentes au regard de la situation de référence. Les deux recherches ont abordé dans un premier temps la tâche et ensuite l'activité des acteurs en situation de travail.

2.3.4 ELEMENTS DE PROBLEMATISATION: sur l'objet à enseigner dans un contexte déterminé

L'état de l'art sur l'analyse du travail en didactique professionnelle a permis de mettre en évidence la pertinence d'une telle démarche pour étudier la formation. Une des originalités de notre recherche est de s'intéresser à une formation initiale qui ne concerne pas directement un métier. L'analyse du travail et l'étude des processus de décontextualisation et recontextualisation des situations prennent ici des places importantes.

2.4 VERS L'ELABORATION D'UN CADRE CONCEPTUEL

L'objectif de ce paragraphe, est d'articuler, à travers le concept de transposition didactique, les approches disciplinaires et professionnelles des didactiques, pour analyser la relation entre le contexte professionnel et le contexte de la formation. Le concept de transposition didactique est restitué ici sous une perspective de didactique comparée, selon son projet « théorico méthodologique pour étudier les phénomènes d'enseignement /apprentissages d'objets spécifiques et construire, ce faisant, un domaine scientifique propre, au sein des

sciences didactiques et des sciences de l'éducation » (Schubauer-Leoni et Leutenegger, 2005, p 407). La double approche de didactique de la technologie et didactique professionnelle, peut ainsi bénéficier des avances de la didactique comparée et pourrait contribuer à son développement. Elle s'inscrit par ailleurs dans :

1. Une perspective macro-didactique, qui permettra d'aborder la question de la référence et l'étude des processus transpositifs. Ces notions contribuent à clarifier les enjeux épistémologiques des savoirs (ou corpus des savoirs de référence) dans les institutions.
2. Une perspective micro-didactique, qui permettra ensuite d'étudier les situations, ayant pour objectif l'enseignement / apprentissages des savoirs résultants du processus transpositif.

2.4.1 LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE

La transposition didactique est ici abordée à partir de la question de la référence dans le processus de transformation des savoirs au sein des institutions.

Sensevy et Mercier (2007) parlent des systèmes de référence, en faisant la distinction entre celui des actants dans la situation didactique et celui des observateurs extérieurs (en particulier le didacticien). Selon ces chercheurs l'objectif est de confronter les deux systèmes afin d'établir une dialectique. Ces auteurs énoncent des références. Une référence locale «renvoie au procès des transactions, au jeu didactique en tant que tel, et à ses enjeux » (Ibid., p 196). Une référence globale, se rapporte aux pratiques de référence, au sens de Martinand (1986), « susceptibles de constituer des repères pour le travail didactique, notamment lors de processus d'institutionnalisation » (Ibid., p 196). Selon Mercier (2002) les liens entre les deux références, globale et locale, sont étudiés par la théorie de la transposition didactique, (Chevallard, 1985,1991). Dans une perspective comparatiste, les processus de transposition didactique et ses phénomènes de décontextualisation / recontextualisation, ainsi que de dépersonnalisation et repersonnalisation sont incontournables (Schubauer-Leoni et Leutenegger, 2005).

De façon générale, les processus transpositifs sont généralement étudiés en deux étapes:

- Une qui s'intéresse à « la distance (ou au décalage) entre textes officiels disant le découpage des programmes et manuels ou / et entre savoirs de référence et savoirs à enseigner dans les manuels » (Ibid., p 415). Cela prend le nom de transposition didactique externe.
- L'autre constitue le moment de la transposition didactique interne, il s'intéresse à la distance entre ce qui est prescrit et ce qui se passe réellement dans la classe.

2.4.1.1 Transposition didactique externe

Les travaux concernant la transposition didactique externe sont nombreux et concernent plusieurs disciplines.

En didactique de la technologie, Vérillon (1998) a recensé deux travaux concernant l'étude de la transposition didactique dont les résultats visent « une caractérisation spécifique de la sphère technique » (Ibid., p 13). Martinand et Durey (1994) partent d'une idée élargie de la transposition didactique, conçue comme le passage entre les pratiques de référence et les activités scolaires. Ces auteurs notent que la notion de pratique sociale de référence « insiste sur le fait qu'il s'agit d'activités qui ne se réduisent pas à un rapport individuel au savoir » (Ibid., p 104), ainsi la notion de référence ne se rapporte pas à une équivalence, mais à une mise en relation entre les pratiques invoquées et les activités scolaires. Cela permettrait une comparaison entre certains éléments tels que les buts, les obstacles, les moyens, les opérations, les tâches, etc., afin d'étudier les écarts et déterminer la pertinence vis-à-vis de la situation de référence.

En ce qui concerne la didactique professionnelle, Rogalski et Samurçay (1994) étudient les processus de transposition externe qui permettent d'élaborer des contenus de formation. Pour cela, ces chercheures proposent d'identifier le corps de savoirs de référence et de déterminer les conditions de son « enseignabilité ». Elles posent avec Pastré (1992) qu'« en didactique professionnelle, la transposition didactique concerne de manière indissociable savoir conceptuel et situations » (Ibid., p 37).

De ces approches, nous relevons une tendance à parler de « pratiques » de « situations », de « références ». Tous ces éléments serviront comme point de départ dans la problématisation des processus transpositif étudiés dans cette recherche.
La transposition didactique externe a un caractère multidimensionnel, porté par la complexité des objets à enseigner (Schneuwly et autres, 2006, p 179). Ainsi, à une analyse épistémologique de l'objet (ou la tâche), s'ajoute une analyse a priori qui prend en compte les dimensions enseignables de l'objet (Ibid., p 179). D'autres dimensions peuvent caractériser la transposition didactique externe, telles que les contraintes institutionnelles, matérielles, etc. Dans la présente recherche, et en relation avec la spécificité du contexte de la formation, l'étude de la transposition didactique externe sera abordée selon une perspective originale.

2.4.1.2 Transposition didactique interne

La transposition didactique interne s'intéresse à la mise en œuvre effective des savoirs en classe. Elle permet selon Schneuwly et autres (2006, p 176) d'examiner :

> « La manière dont des objets inscrits dans les plans d'études comme objets à enseigner sont re-configurés et co-construits par les partenaires de la situation didactiques à travers l'interaction en classe. Dans cette perspective, l'objet enseigné n'est pas défini comme un objet stable mais comme un objet qui se modifie en fonction des dispositifs d'enseignement choisis, évolue en fonction des contraintes de la classe et se transforme dans le cadre de l'activité, grâce aux interactions complexes entre les trois pôles du triangle didactique constitué par l'enseignant, les élèves et les objets d'enseignement »

Schubauer-Leoni et Leutenegger, (2005) reprennent l'idée de « texte de savoir », utilisée par Chevallard (1985) :

> «Le savoir à enseigner est mis en scène, les objets qui le composent, sont parlés, schématisés, notés au tableau et dans des cahiers, qui recréent un univers de référence pour/par l'action d'enseignement (traces à l'usage du professeur) et pour/par l'action d'apprentissage (traces pour l'étude de l'élève). Dans la théorie de la transposition, la fonction de ces « mises de textes » est essentielle et constitutive du processus de réorganisation des objets d'enseignement et d'apprentissage […] » (Schubauer-Leoni et Leutenegger, 2005, p 414).

Afin d'étudier la transposition didactique interne, Schneuwly et autres (2007) proposent une méthodologie centrée sur le synopsis. « La connaissance de l'objet enseigné en acte est ainsi analysée dans le cadre des relations d'interdépendance entre les savoirs relatifs à l'objet à enseigner et les sujets qui participent à leur construction (l'enseignant et les élèves) » (Ibid., p 177).

VERS UNE ARTICULATION THEORIQUE

Nous avons énoncé le projet de cette recherche : l'analyse de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation sous une approche didactique. Pour mener à bien ce projet, l'état des lieux a mobilisé des concepts issus de deux champs : la didactique de la technologie et la didactique professionnelle. Le premier, porte sur les savoirs disciplinaires, le deuxième, sur l'expérience dans le champ de pratiques. Les processus de transposition sont depuis longtemps analysés dans le champ des didactiques disciplinaires et un peu moins dans les contextes universitaires. Nous avons relevé une spécificité de l'enseignement supérieur, relative au fait que les enseignants chercheurs construisent des savoirs (par le biais de la recherche) et élaboren , mettent en œuvre le curriculum. De ce point de vue, il est intéressant d'envisager une analyse de la chaîne transpositive complète pour identifier la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation et approfondir l'analyse de cette spécificité et de ses conséquences dans la mise en œuvre des savoirs. Le cadre conceptuel proposé articule les concepts des didactiques en suivant les étapes des processus transpositifs.

Résumé du chapitre 2 : état des lieux

Ce deuxième chapitre est consacré à l'état des lieux des recherches concernant l'objet de notre travail de recherche. Il est organisé en trois parties : la première concerne une approche didactique disciplinaire contextualisée dans la formation technologique supérieure, la deuxième est relative aux théories d'enseignement proposées depuis la didactique professionnelle et la troisième s'intéresse à l'analyse du travail pour la formation, également dans une perspective de didactique professionnelle.

L'état des lieux s'intéresse donc d'abord aux apports de la didactique de la technologie, à la construction des savoirs au sein de la technologie et à la construction de curriculums prescrits mais aussi à l'organisation et aux choix de contenus dans les institutions de formation. Deux éléments de problématisation apparaissent. Le premier est relatif à la relation entre les choix de contenus et la pratique sociale de référence (Martinand, 1983) ; il s'appuie sur la nécessité d'un double regard didactique : disciplinaire et professionnelle (Cartonnet, 2000). Le deuxième porte sur l'élaboration des savoirs dans l'institution concernée, et plus encore sur l'étude des rôles des acteurs impliqués à la fois dans l'élaboration des savoirs, des curriculums et dans sa mise en œuvre des formations.

L'état des lieux des apports de la didactique professionnelle permet de présenter les théories d'apprentissage sous-jacentes dans la présente recherche dans une deuxième partie. Ensuite, l'analyse du travail (troisième partie) est légitimée par deux objectifs : la connaissance du domaine et la recherche « du possible » (premier objectif), afin de pouvoir étudier et proposer des situations didactiques modélisées avec simulateur informatique (deuxième objectif).

Le concept de transposition didactique est abordé en référence à l'élaboration et à la mise en œuvre des contenus d'enseignement au sein des institutions concernées. La transposition est envisagée comme un moyen permettant d'articuler les deux perspectives didactiques (didactique de la technologie, didactique professionnelle).

Chapitre 3 :
Le cadre conceptuel de la recherche

CHAPITRE 3

LE CADRE CONCEPTUEL DE LA RECHERCHE

Vers une articulation des concepts issus de deux didactiques (technologie et professionnelle) par un regard sur les processus transpositifs

3.1 Le contexte de la recherche : l'élaboration des concepts relatifs aux techniques
3.2 Le contexte de la formation universitaire technologique
3.3 La construction du curriculum
3.4 La situation de formation avec simulateur
3.5 Le fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur

Dans ce chapitre les notions théoriques présentées dans l'état des lieux sont articulées pour avancer dans l'étude de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation. Cinq parties sont proposées, elles concernent :

- L'élaboration des concepts techniques dans le laboratoire de génie mécanique.
- Les particularités de l'institution universitaire étudiée qui permettent de construire une articulation entre des approches didactiques disciplinaire et professionnelle.
- La construction des curriculums dans ce contexte universitaire particulier puisque les acteurs participent à la fois à l'élaboration des concepts, des curriculums et à l'enseignement.
- La situation de formation avec simulateur.
- L'articulation théorique permettant l'étude du fonctionnement d'un système didactique avec simulateur.

L'objectif du cadre conceptuel est d'articuler des notions théoriques afin d'avancer vers la problématique générale de recherche.

Le cadre conceptuel s'appuie sur les deux approches didactiques (disciplinaire et professionnelle) afin de proposer les outils théoriques nécessaires à l'étude de la relation entre le contexte professionnel et de la formation. La situation de formation intégrant un simulateur, l'évolution de cet instrument se trouve au cœur de la problématique.

Dans l'état des lieux des recherches qui portent sur des objets proches, on a relevé trois types de conceptions de simulateurs pour la formation : pleine échelle, résolution de problèmes et simulateurs de conception (Pastré, 2005, pp 79-80). Si l'on s'appuie sur cette typologie, nous pouvons penser qu'un choix déterminé du type de simulateur peut être relié à des objectifs de formation spécifiques. Dans cette perspective il est intéressant de s'interroger sur l'idée sous-jacente à la conception du simulateur portée par les concepteurs initialement. En effet, bien avant l'arrivée du laboratoire de didactique dans l'équipe multidisciplinaire, les chercheurs en génie mécanique avaient déjà développé un premier prototype du simulateur. L'étude exploratoire a ainsi permis d'expliquer la philosophie initiale du développement de l'outil. Le cadre conceptuel débute avec un simulateur de résolution de problèmes, ce qui justifie la place donnée à la didactique professionnelle dans la présente recherche. Un autre cadre théorique est mobilisé: celui de la didactique de la technologie. La didactique de la technologie constitue l'approche disciplinaire des savoirs relatifs aux techniques. Le contexte joue aussi un rôle non négligeable dans cette articulation, par la prise en compte des caractéristiques de la formation technologique supérieure.

La figure 2 représente les cinq institutions faisant partie du contexte de cette recherche :

1. Le contexte professionnel de la production industrielle avec MOCN
2. Le laboratoire de génie mécanique de Toulouse (LGMT),
3. Le centre universitaire de formation et de recherche de Champollion (CUFR Champollion),
4. La noosphère chargée d'élaborer le curriculum,
5. La classe.

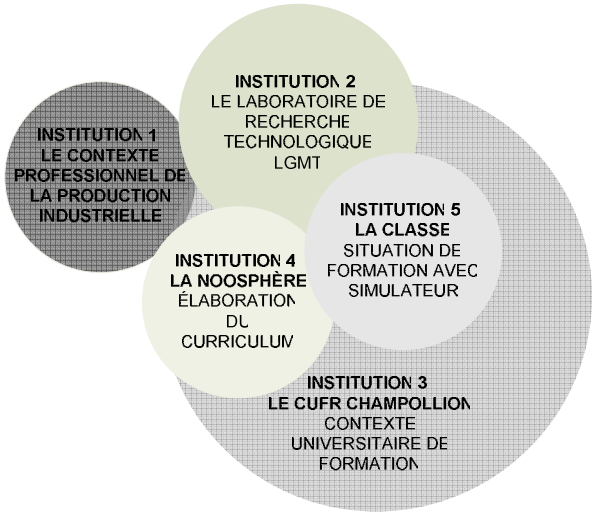


Figure 2: institutions intervenant dans le cadre de cette recherche

La relation entre le contexte professionnel et celui de la formation est étudiée par les rapports existants entre ces institutions. Afin d'étudier la chaîne transpositive et en relation avec les institutions citées, nous nous intéressons:

- Aux modalités d'élaboration des savoirs (concepts techniques) dans le laboratoire de recherche (LGMT).
- À la relation entre le modèle d'université et la conception des enseignements dans l'institution de formation : le CUFR de Champollion.
- Au syllabus de la formation, à la conception de la formation et aux choix de contenus[28] (le travail de la noosphère)
- À la situation de formation, en classe, par l'étude des savoirs à enseigner et du fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur.

3.1 L'ELABORATION DES CONCEPTS (RELATIFS AUX TECHNIQUES) DANS LE CONTEXTE UNIVERSITAIRE TECHNOLOGIQUE

Le premier aspect que nous aborderons dans ce cadre conceptuel est l'élaboration des concepts dans le contexte universitaire technologique. Il constitue la première étape dans

[28] D'après Reuters et autres (2007) : « La notion de contenus renvoie à des choses aussi diverses que les savoirs, les savoirs-faire ou les compétences qui sont les objets d'enseignement et/ou d'apprentissage les plus identifiables dans un système didactique, mais aussi des valeurs, des pratiques, des « rapports à », voire des comportements ou des attitudes. Cette notion désigne donc tout ce qui est objet d'enseignement et d'apprentissage et qui constitue les savoirs qui sont enseignés et les connaissances que construisent les élèves au fil du temps » (Ibid., p 45). Dans la théorisation du triangle didactique, le pôle de contenu d'enseignement (ou de formation) peut ainsi consister à un savoir, savoir faire, pratiques, valeurs etc énoncés précédemment (Ibid., p 210). » Ceci est le sens que la notion de contenu porte dans la présente recherche.

l'étude de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation par l'analyse de la chaîne transpositive.

Nous justifions l'utilisation du terme concept à la place du terme savoir pour deux raisons.

La première est dans le caractère non stabilisé et non institué (construit socialement et historiquement) de ces concepts techniques qui ont, par ailleurs, un statut particulier. Ils sont élaborés dans des laboratoires de recherche et leur légitimation s'effectue en partie par la communauté des praticiens (les professionnels du métier). Cette notion est ainsi indépendante de processus de légitimation des savoirs que l'on trouve dans d'autres approches didactiques (et institutions de recherche).

La deuxième est la lignée théorique de cette recherche. La notion de concept, renvoie à celle de conceptualisation. Celle-ci est au cœur des articulations des théories piagétiennes et vygostkyenes dans lesquelles s'inscrit la présente recherche[29].

Ceci dit, dans certains cas, la notion de savoir permet de rendre compte du caractère institué, objectif, dépersonnalisé et décontextualisée de la connaissance (Reuters et autres, 2007, p 45).

L'élaboration des concepts relatifs aux techniques est abordée du point de vue des acteurs :

- D'une part, les concepts, en tant qu'énoncés validés par une communauté scientifique ou professionnelle, sont étudiés dans la présente recherche par la formalisation effectuée au sein d'un laboratoire scientifique. Les acteurs sont les enseignants chercheurs. Nous insistons sur le fait que ces enseignants chercheurs élaborent les savoirs et participent à la construction et à la mise en œuvre de curriculum dans la formation.
- D'autre part, les concepts subissent un mouvement de l'extérieur (le savoir en tant que patrimoine) vers l'intérieur (le savoir en tant que ressource disponible chez le sujet), pendant le processus d'apprentissage[30]. Les acteurs sont ici les étudiants. Dans le cas des activités constructives, ils doivent élaborer un modèle opératif leur permettant d'être efficaces face à la situation dans laquelle ils sont engagés pour la transformer.

[29] Nous employons le terme concept dans la distinction proposée par la relecture de Rogalski (2006a, p 240) : « nous lirons la différenciation introduite par Vygostki comme contrastant le mode d'existence de concepts issus de l'interaction de l'enfant avec le monde des objets sans qu'il y ait eu d'intervention didactique au mode d'existence des concepts issus de la production scientifique collective antérieure et qui deviennent par ailleurs des objets d'enseignement ».

[30] Voir paragraphe 2.2.2.2 d'état des lieux

Dans le contexte de la formation universitaire technologique, l'élaboration des concepts se développe dans le champ de la recherche en génie mécanique. Cette particularité s'explique en partie par un processus d'évolution de la discipline indépendamment de la science[31], et par le rapport que ce contexte entretient avec le monde industriel. Le contexte industriel est en effet, une source des problématiques de recherche et de légitimation des savoirs élaborés par la recherche.

L'institution dans le contexte de la recherche : Le laboratoire de recherche

Le Laboratoire de Génie Mécanique de Toulouse (LGMT) et l'équipe de fabrication élaborent les concepts relatifs aux techniques.

Dans la présentation du site web du LGMT[32], de nombreuses références au contexte industriel apparaissent. Le LGMT créé en 1990, est une unité propre de l'Enseignement Supérieur (EA 814) et commun à trois établissements toulousains : l'IUT A, l'INSA de Toulouse et l'Université Paul Sabatier. Une grande partie des thèses produites au LGMT « traite de sujets qui intéressent directement l'industrie et qui sont réalisés en partenariat avec des entreprises industrielles ». Les missions du LGMT portent sur : « les recherches fondamentales, appliquées, et industrielles, la formation par la recherche et à la recherche, l'information scientifique et technique et le soutien à l'enseignement dans le cadre des obligations statutaires de tous les personnels ».

« Les équipes de recherche se sont développées à partir des problèmes posés par les structures composites et des composants mécaniques particuliers. Ils ont été initiés par les besoins d'un environnement industriel local essentiellement dirigé vers l'aéronautique et le spatial (constructeurs et équipementiers).

L'activité de recherche du Laboratoire est centrée sur la conception des systèmes et des structures mécaniques, la modélisation de leur comportement, et l'étude des procédés qui permettent de les élaborer. Les études s'intéressent aussi bien aux structures métalliques qu'aux structures en matériaux composites. Les domaines de la micromécanique et de la microfluidique sont également abordés. La majorité des travaux s'articulent autour de trois axes complémentaires : *la modélisation théorique, la simulation numérique et les développements expérimentaux*, ces derniers étant menés à des fins d'investigation ou de validation des modèles. Le Laboratoire cultive un éventail de compétences diversifiées pour remplir son rôle de support aux nombreuses formations professionnelles et de recherche des

[31] Voir paragraphe 2.1.1 d'état des lieux

[32] Tous les paragraphes entre guillemets correspond aux extraits du site web : http://www.meca.insa-toulouse.fr/lgmt/, consulté le 9/5/2008

établissements de tutelle. Dans le cadre de la contractualisation 2007-2010, le laboratoire a adopté une structuration en 4 équipes, dont celle de fabrication et structures composites. »

L'équipe de fabrication est impliquée dans le développement du simulateur. Deux thèmes de recherche sont développés : l'étude des dispersions dans les centres d'usinage et l'étude et optimisation des trajectoires d'outils sur machines multi-axes pour l'usinage de surfaces gauches.

Par la suite, la relation précédemment explicitée, entre le contexte de la recherche scientifique et l'environnement industriel, sera approfondie. Deux mouvements permettent de rendre compte de l'élaboration des concepts : d'une part, la modélisation des concepts pragmatiques, et d'autre part la pragmatisation des concepts théoriques.

Les concepts pragmatiques proviennent du contexte professionnel à partir de problématiques très variées: l'amélioration des qualités de pièces usinées, les conditions d'usinage, etc. La figure suivante synthétise ce processus :

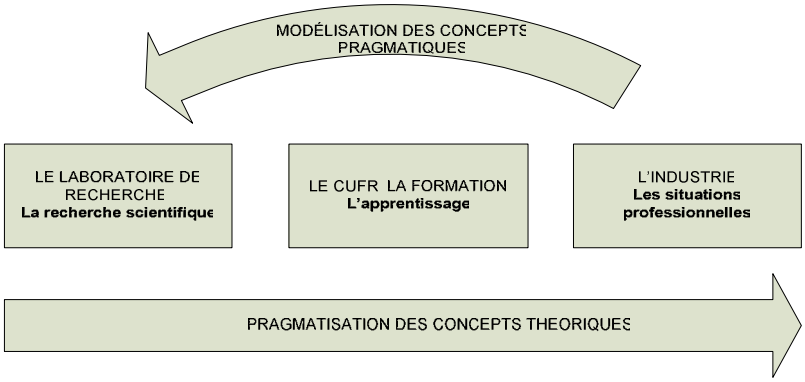


Figure 3 : Modélisation des concepts pragmatiques et pragmatisation des concepts théoriques.

3.1.1 VERS UNE MODELISATION DES CONCEPTS PRAGMATIQUES

Dans la relation entre concepts pragmatiques et concepts théoriques, Vidal-Gomel et Rogalski (2007, pp 60) ont fait le choix de différencier les concepts scientifiques et techniques (tous les deux faisant partie des concepts théoriques). Dans la ligne de l'exposé sur la construction des savoirs[33], ces auteures (Ibid., p 61) reprennent les travaux d'épistémologues de la technologie (notamment Vicenti, 1992). Les connaissances des deux champs, scientifique et technique,

[33] Voir paragraphe 2.1.1 d'état des lieux

interagissent et se nourrissent constamment même si elles ont quelques caractères différents. Les connaissances scientifiques peuvent certes être employées par les ingénieurs dans leurs activités de conception, mais le corps de connaissances qu'ils mobilisent diffère de la connaissance scientifique (Vidal-Gomel & Rogalski, 2007, p 61).

Les concepts théoriques, scientifiques et techniques énoncés précédemment, ont suivi un processus d'élaboration, permettant de les distinguer des concepts pragmatiques.

En ce qui concerne le domaine de validité des concepts techniques, l'affirmation suivante de Vidal-Gomel et Rogalski (2007) constitue le point de départ de notre réflexion:

> « Les concepts techniques sont plutôt issus d'une conduite de détour, de la volonté explicite de théoriser suffisamment un phénomène pour s'assurer de la cohérence d'ensemble, de l'amplitude du domaine de validité et de l'utilité du concept technique » (Ibid., p 62).

En effet, ce cadre conceptuel tient sur l'hypothèse de l'existence de deux mouvements. D'une part, la pragmatisation des concepts théoriques est nécessaire et relève d'une genèse opérative (Pastré, 2005, p 239). D'autre part, dans l'élaboration de certains concepts techniques, les problématiques peuvent conduire à un processus de théorisation, permettant d'élargir leur domaine de validité. En quoi consiste ce processus de théorisation?

Afin d'établir quelques bases conceptuelles pour l'exploitation de cette hypothèse, revenons à la présentation du Laboratoire de Génie Mécanique de Toulouse. Ses axes d'action en recherche sont la modélisation théorique, la simulation numérique et les développements expérimentaux.

Nous avons abordé la modélisation[34]comme une modalité possible de construction des concepts théoriques propre à la technologie. La modélisation d'un objet est envisagée par une exigence d'ordre pratique ou par une visée scientifique.

L'exigence d'ordre pratique conduit, selon Martinand (1996, p 4), à « procéder à une réduction opératoire », permettant de dégager sa fonction technique et donc, les conditions de son utilisation. C'est le registre du « référent empirique » : «celui des objets, des phénomènes et de leur connaissance phénoménographique » (Ibid., p 6). Le statut de référent empirique est particulier : Martinand (Ibid., p 7) pointe le rôle analogue des modèles à ceux des concepts et théorèmes. En sciences expérimentales le référent est constitué aussi d'objets et de phénomènes, ou d'actions sur des objets et d'intervention sur des phénomènes. Et il a aussi un statut « empirique ».

[34] Voir état des lieux (paragraphe 2.1.1.1)

Dans le cas de la visée scientifique, il s'agit, toujours selon Martinand, « d'expliquer par des théories la forme même de la caractéristique de l'objet (technique), ou en tout cas, d'une partie » (Ibid., p 4).
Martinand (1996, p 10) prend en compte, dans l'élaboration des modèles, les enjeux du paradigme épistémique (conception de ce que doit être la connaissance) et les ressources théoriques (langages, schémas, théories). Ensuite il explicite les modalités de construction et d'application des modèles : la construction fait appel à une tâche (ou problème) qui impliquent la modélisation.

Martinand (1994) fait ici référence aux processus de modélisation chez les élèves. Dans notre recherche, nous empruntons cette notion de modélisation et nous l'envisageons comme un processus effectué par les chercheurs en génie mécanique dans l'élaboration des concepts techniques.

La réflexion apportée par Barbier (1996) va dans le sens de notre perspective. Selon cet auteur :

> « La production des savoirs directement liés à l'action autorise l'expérimentation de dispositifs et plus largement de milieux de recherche correspondant à des champs de pratiques, dont les caractéristiques et règles de fonctionnement ici explorées sont très différentes des caractéristiques et des règles de fonctionnement des milieux de recherche traditionnels » (Ibid., p 7)

Revenons aux intentions affichées par le LGMT : un modèle théorique relève de la connaissance et un modèle empirique de la description. Avant la construction d'un modèle théorique, une description première donne lieu à une construction consensuelle (phénoménographie). Il y a ensuite une description seconde où le modèle se projette sur le référent (phénoménologie) (Martinand, 1996, p 8).

Dans les orientations des travaux sur la modélisation, Martinand (1996, p 11) a énoncé les rapports entre conceptualisation et modélisation :

> « Il n'y a pas de modèles sans concepts. Lorsque des états de la matière donnent lieu à des modèles particulaires pour les interpréter dans un effort de représentation unifiée, les caractéristiques de chaque état ont déjà dû donner lieu à conceptualisation, pour les désigner. Et lorsque, après de multiples essais d'ajustement du modèle particulaire à l'interprétation non contradictoire de plusieurs états de la matière, on peut effectuer provisoirement un « arrêt sur le modèle » parce que celui-ci, certes encore hypothétique, a acquis un pouvoir de représentation générale et d'interprétation cohérente, mais encore ouverte à de nouveaux « bricolages », c'est le concept de particule qui devient lui-même mobilisable parce qu'il est associé à des spécifications précises et « combinables », ajustables ».

La notion de modèle et celle de concept technique doivent être mises en dialogue afin d'exploiter l'hypothèse d'une modélisation théorique. Le produit de cette modélisation étant les concepts techniques, un premier point en commun est constitué par la visée pragmatique :

- La visée pragmatique des concepts techniques : « produire un effet intéressant, un état avantageux ou un artefact utile » (Vidal-Gomel et Rogalski, 2007, p 61), peut être rapprochée à l'exigence d'ordre pratique (par exemple de réduction opératoire) dans le statut empirique du modèle énoncé par Martinand (1996, p 6).
- Les concepts techniques tendent à un élargissement suffisamment grand de leur domaine de validité pour permettre une certaine cohérence d'ensemble, (Vidal-Gomel et Rogalski, 2007, p 61). Concernant un modèle, la visée scientifique peut consister à « expliquer par des théories la forme même de la caractéristique de l'objet (technique) ou d'une partie » (Martinand, 1996, p 4), le modèle résultant permettra d'effectuer un « arrêt sur modèle » puisque suffisamment représentatif.

Vidal-Gomel et Rogalski (2007) donnent un exemple de ce processus. Dans le domaine de la lutte contre les feux de forêt, les pompiers opérationnels, utilisent un concept pragmatique qui établit la relation de proportionnalité directe entre la vitesse du vent et la vitesse d'avancement du feu (si les autres variables demeurent constantes). Dans le domaine technique, les recherches sur le feu essaient d'établir une relation entre les deux variables : vitesse du feu et vitesse du vent.
L'hypothèse développée ici est que la théorisation d'un concept pragmatique, par modélisation théorique, a comme résultat un concept technique.

Les concepts pragmatiques constituent des réponses à des problèmes que les professionnels rencontrent dans les situations de travail. Ces concepts pragmatiques constituent une opportunité d'amélioration de la technique[35]. Les laboratoires de recherche technologique utilisent (entre autres) ces sources afin d'établir les problématiques de recherche. C'est le cas dans les filières qui entretiennent des relations étroites avec le monde industriel. La modélisation théorique constitue une voie privilégiée d'élaboration des concepts techniques.
La figure 4 rend compte de ce mouvement :

[35] Par les quatre sources énoncées par Laudan (1994), voir état des lieux tableau 2.

Figure 4 : La modélisation des concepts pragmatiques

3.1.2 PRAGMATISATION DES CONCEPTS THEORIQUES : LE CAS DES APPRENTISSAGES EN SITUATIONS HAUTEMENT TECHNIQUES ET COMPLEXES

Nous avons fait référence aux phénomènes liés à la théorie de la conceptualisation dans l'action. Nous citerons ici, plus particulièrement, les notions concernant les formes épistémique et opératoire de la connaissance[36]. En se situant du côté de l'activité, ces deux formes de connaissance se déclinent en modèles cognitif et opératif : Le modèle cognitif, en tant que représentation (que se fait un sujet) d'objets, propriétés et relations entre objets ; le modèle opératif, représentant de « la situation […] déformée, parce que finalisée par le but de l'action » (Pastré, Mayen & Vergnaud, 2006, p 160).

Ces auteurs proposent deux grandes modalités d'articulation entre ces modèles cognitif et opératif :

1. Le modèle cognitif peut être appris indépendamment du modèle opératif, c'est le cas des formations dont la théorie précède la pratique.
2. Les deux modèles sont appris en même temps, c'est le cas de la construction de l'expérience (Pastré, Mayen & Vergnaud, 2006, p 162).

La première modalité, toujours selon ces auteurs, a lieu dans les situations d'enseignement où on se confronte à des systèmes techniques très complexes, et auxquels le « modèle cognitif sous-jacent repose sur des savoirs de type technique et scientifique » (Ibid., p 161), et donc il semble difficile d'imaginer un apprentissage direct par l'exercice immédiat de l'activité. Dans ce cas, la formation est organisée autour d'un enseignement théorique, suivi d'un enseignement pratique. Les auteurs insistent cependant sur le fait que cette organisation n'a

[36] Voir paragraphe 2.2.1.3 d'état des lieux.

rien d'universelle, et ils s'opposent à la considération épistémologique sous-jacente de la pratique comme application de la théorie. Ainsi, notent-ils : « la pratique ne va pas consister à appliquer le modèle cognitif, mais à construire un modèle opératif à partir de deux sources, le modèle cognitif certes, mais aussi l'exercice de l'activité elle-même » (Ibid., p 161).

Quand un apprenant se confronte à une situation d'apprentissage pratique, son modèle opératif initial se réorganise, afin de lui permettre d'assimiler (et agir sur) la nouvelle classe de situations[37]. Le modèle opératif se rapproche ainsi de plus en plus de la structure conceptuelle[38] (Pastré, 1992) au fur et à mesure qu'un novice devient expert. Pour faciliter cet apprentissage, Samurçay et Pastré (1995, p 13) proposent de faire porter la formation sur des concepts pragmatiques. La notion de concept pragmatique renvoie aux invariants autour desquels les individus organisent leurs actions (Ibid., p 13). Un concept pragmatique :

1. « est un concept organisateur de l'action, permet d'identifier le type de classes de situations dans laquelle le sujet s'engage dans son action
2. est un concept construit dans l'action, faisant partie de la catégorie « concepts-en-acte »[39] de Vergnaud (1991) […].
3. est un concept qui possède une dimension sociale : il est reconnu comme organisateur de l'action par la communauté professionnelle. » (Ibid., p 165)

Pastré, Mayen et Vergnaud (2006, p 165) signalent cependant que lors des situations techniques complexes, ce sont les concepts scientifiques qui vont organiser l'action. *Ces concepts scientifiques sont alors pragmatisés pour remplir la fonction de diagnostic*. C'est le cas, quand le modèle cognitif a été appris avant le modèle opératif. La notion de concept pragmatique a servi pour introduire le processus de pragmatisation des concepts scientifiques dans une situation hautement technique.

Vidal-Gomel et Rogalski (2007) ont effectué l'état des lieux des recherches s'intéressant à ce processus de pragmatisation des concepts théoriques (Pastré, 2005, p 75). Ainsi :

> « Dans la confrontation aux caractéristiques des situations, deux mouvements de transformation de la relation entre les connaissances théoriques et les concepts pragmatiques peuvent être différenciés : d'une part, les concepts théoriques vont acquérir un nouveau sens, ils sont « pragmatisés » en s'inscrivant dans une sémantique de l'action, les connaissances théoriques deviennent ainsi directement opératives et, d'autre part, des concepts pragmatiques vont être constitués ». (Vidal-Gomel et Rogalski, 2007 ? p 60)

Les concepts théoriques se différencient des concepts pragmatiques par leur statut dans la formation. Ainsi, quand il s'agit d'enseignements disciplinaires (scientifiques ou techniques),

[37] Pastré a qualifié ce processus de « genèse opérative » (Pastré, 2005, p 239).

[38] La notion de Structure Conceptuelle de la Situation a été définie dans le paragraphe 2.2.1.3 d'état des lieux, elle est définie comme « l'ensemble de concepts organisant l'action et servant à la guider ». Ces concepts peuvent avoir plusieurs origines : pragmatique ou scientifique, à condition qu'ils soient enroulés dans l'action.

[39] Un concept en acte est une des connaissances (l'autre sont les théorèmes en acte) contenus dans les schèmes, on les désigne aussi par l'expression d'invariants opératoires. Un schème est une organisation invariante de l'activité pour une classe de situations définie (Vergnaud, 1990, Pastré, Vergnaud, Mayen, 2006).

les concepts sont déjà déterminés, alors que dans la formation professionnelle, les savoirs professionnels de référence (concepts pragmatiques) doivent être identifiés par une analyse de la situation de travail.

La figure 7 permet d'illustrer le processus de pragmatisation des concepts théoriques, lors d'une situation d'apprentissage par l'exercice de l'activité après une formation théorique. Dans le cas de la formation technologique supérieure, les situations sont hautement techniques et complexes, la formation est structurée dans un premier moment autour des enseignements théoriques : les concepts théoriques, scientifiques ou techniques permettent d'élaborer un modèle cognitif. A partir de ce modèle cognitif et par l'exercice d'une activité, le modèle opératif est élaboré. Pour cela, les concepts théoriques se pragmatisent et les concepts pragmatiques sont créés.

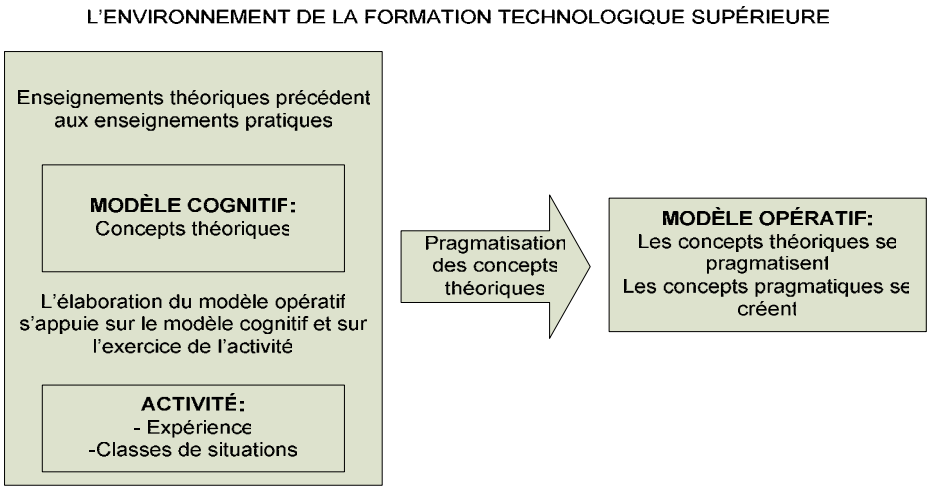

L'ENVIRONNEMENT DE LA FORMATION TECHNOLOGIQUE SUPÉRIEURE
Enseignements théoriques précédent aux enseignements pratiques
MODÈLE COGNITIF:
Concepts théoriques
L'élaboration du modèle opératif s'appuie sur le modèle cognitif et sur l'exercice de l'activité
ACTIVITÉ:
- Expérience
-Classes de situations
Pragmatisation des concepts théoriques
MODÈLE OPÉRATIF:
Les concepts théoriques se pragmatisent
Les concepts pragmatiques se créent

Figure 5 : La pragmatisation des concepts théoriques

3.2 LE CONTEXTE DE LA FORMATION UNIVERSITAIRE TECHNOLOGIQUE

La deuxième dimension est la relation entre le modèle d'université et la conception des enseignements dans l'institution CUFR de Champollion. La prise en compte du modèle dans lequel s'inscrit l'institution universitaire permet d'établir une relation entre une approche disciplinaire, de la formation technologique supérieure et une approche en didactique professionnelle. Cette partie s'organise ainsi en trois moments.

- Un moment sert à caractériser le contexte de la formation universitaire, à travers les différents modèles d'université présentés par Lessard et Bourdoncle[40] (2002).
- Un moment s'intéresse aux notions de didactique de la technologie permettant d'effectuer une première caractérisation disciplinaire dans le contexte universitaire technologique.

[40] Voir paragraphe 2.1.2.2 de l'état des lieux

- Un moment s'organise autour des réflexions théoriques permettant d'établir une articulation entre ce contexte universitaire technologique et le contexte professionnel. Cette articulation s'appuie sur une discipline : les sciences de la production, liée historiquement au monde industriel. Cela permet de justifier, d'un point de vue théorique, une double approche didactique disciplinaire et professionnelle.

En relation avec l'étude de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation, nous établissons dans cette partie les articulations nécessaires entre un champ didactique disciplinaire et un champ didactique professionnel.

3.2.1 PREMIER MOMENT DE CARACTERISATION DE L'INSTITUTION DANS UN MODELE UNIVERSITAIRE

L'analyse du contrat quadriennal du CUFR de Champollion permet de déterminer à quel modèle d'université appartient cet établissement. La formation se déroule dans un établissement pluridisciplinaire d'enseignement supérieur à caractère administratif (EPA) créé en 2002. La première partie du contrat quadriennal de 2007-2010 établit les conditions du développement de l'établissement et s'articule autour de trois axes :

Le premier axe porte sur le développement scientifique : « le CUFR Champollion s'inscrit résolument dans la dynamique de la recherche. L'établissement considère comme une priorité absolue sa contribution à la politique nationale de la recherche. »[41]. Le document propose une dynamique de recherche pas le biais d'équipes de recherche technologiques[42]. Dans cette stratégie, *le partenariat avec les entreprises* est porteur de projets tant technologiques que sociétaux. L'université vise aussi à encourager *l'ancrage des universitaires par la recherche*.

Le deuxième axe et le troisième axe du contrat d'habilitation s'intéressent à la formation. Le deuxième axe porte sur le développement d'une offre de formation cohérente. Compte tenu du statut juridique de l'établissement, l'offre de formation doit être présentée en valorisant la pluridisciplinarité, la proximité, la capacité d'innovation, les méthodes pédagogiques. La dimension professionnalisante n'apparaît qu'au niveau master.

Le troisième axe développe trois points fondamentaux : la proximité étudiant-enseignant, le dispositif de VAE (validation des acquis de l'expérience) et *l'adaptation des modalités de formation aux demandeurs d'emploi et salariés*.

[41] Extrait du contrat quadriennal, disponible dans l'annexe 3, document 6.
[42] ERT : équipe de recherche technologique.

Nous trouvons dans le contrat quadriennal plusieurs éléments en perspective avec les modèles proposés par Lessard et Bourdoncle (2006), qui peuvent permettre d'inscrire l'institution concernée « plutôt »[43] dans le modèle de l'éducation scientifique. La caractérisation de ce modèle[44] a permis de relever comme attributs principaux : la recherche de la vérité, l'autonomie des étudiants et des chercheurs, la conception de l'enseignement et de la recherche comme étant indissociables (Lessard & Bourdoncle, 2002, p 139). Concernant le rapport à la professionnalisation, selon ce modèle « la formation en vue de la recherche scientifique et la formation en vue de l'exercice d'une profession sont gouvernées par les mêmes principes, car dans les deux cas, le développement de l'attitude scientifique reste primordial » (Lessard & Tardif, 2006, p 42). Cette rubrique permet de préciser en amont une certaine tendance pour l'élaboration des curriculums. Cette dernière peut dépendre en aval des disciplines concernées et des enseignants chargés d'assurer les cours.

3.2.2 DEUXIEME MOMENT DE CARACTERISATION DE LA DISCIPLINE

Deux approches ont servi à caractériser la formation technologique en contexte universitaire[45]:

1. La première concerne les objectifs de la formation : former à la technicité les futurs concepteurs des produits industriels (Cartonnet, 2000, p 11).
2. La deuxième approche s'intéresse à la conception de la formation, à travers une approche anthropocentrique de techniques proposée par Rabardel (1995).

L'organisation de la formation et la description du milieu[46] dans lequel se déroule la formation peuvent permettre de répondre à la question : à quelle technicité on forme dans cette institution et selon quelle conception de la formation ?

D'une manière générale, l'organisation des formations au sein de cette institution est présentée dans le syllabus[47]. La formation se déroule ainsi selon trois modalités : des Cours Magistraux (CM), des Travaux Dirigés (TD) et des Travaux Pratiques (TP). La formation qui nous intéresse dans cette recherche correspond à un volume horaire de 30 heures de TD, et la

[43] Lessard, Tardif et Bourdoncle précisent le fait que dans les institutions universitaires, des éléments des trois modèles cohabitent et coexistent créant des tensions au sein de la même institution, ce qui empêcherait de positionner l'établissement de façon unanime sur un des trois modèles.
[44] Voir paragraphe 2.1.2.2 dans l'état des lieux
[45] Voir paragraphe 2.1.2.1 dans l'état des lieux.
[46] Le milieu est défini par Brousseau (2003) comme étant « le système antagoniste de l'actant. Dans une situation d'action, on appelle "milieu" tout ce qui agit sur l'élève ou / et ce sur quoi l'élève agit ».
[47] Sera abordée d'une façon plus particulière lors de l'analyse des résultats de la présente recherche.

formation avec simulateur a lieu dans un créneau horaire de 4 heures dans une salle informatique. Cette formation avec simulateur est considérée comme une introduction aux machines outils à commande numérique (MOCN), avant d'accéder au module de formation portant sur l'Usinage à Grande Vitesse (UGV). Ce dernier, se déroule dans l'atelier avec des MOCN, avec un volume horaire de 30 heures de TD.

D'un point de vue théorique, Cartonnet (2000, p 31) décrit le milieu de la formation technologique supérieure en insistant sur les différences que celui-ci entretient avec le contexte professionnel. Il met en avant une séparation nette entre les deux mondes, avec une évolution des « ateliers » au « laboratoire ». Ainsi il rappelle que les « laboratoires d'enseignement ne sont pas une réplique d'un service en entreprise » (Ibid., p 31), « le matériel utilisé est différent, en termes de puissance pour les machines utilisées, par exemple » (Ibid., p31). Il faut pointer que les travaux de Cartonnet sont orientés vers les formations des concepteurs de produits industriels. Or, notre recherche s'intéresse aux formations de « fabricants de produits industriels »[48], et dans l'organisation des structures de formation que nous avons visitées, la configuration était la suivante : les bureaux d'étude sont à l'étage, où s'assurent les formations des filières de génie mécanique, spécialité en conception.

Les ateliers sont installés dans la partie rez de chaussée, où on y assure la formation des filières ayant comme spécialité la fabrication.

Cette configuration ressemble à celles des entreprises que nous avons visitées. La description des objets du milieu est aussi liée à l'organisation du travail. Nous rejoignons Cartonnet (2000) qui décrit « des durées, des continuités d'action sur un projet (entre le contexte de l'entreprise et de la formation), très différentes» (Ibid., p 31), et surtout des fonctions hiérarchiques très différentes.

Les formations technologiques supérieures ont une particularité : l'utilisation des outils, instruments, engins spécifiques, matériels ou symboliques (Combarnous, 1984). Cette caractéristique va permettre de compléter la description générale du milieu tout en introduisant l'approche instrumentale développée par Rabardel (1995, 2005). Dans le cas de la formation technologique visée par cette recherche, les « engins » (matériels) sont un simulateur et une machine outil à commande numérique (MOCN). L'approche instrumentale impulse une conception anthropocentrique des techniques, par la prise en compte de la

[48] Nous maintiendrons l'élargissement proposé par Cartonnet (voir état des lieux paragraphe 2.1.1) qui permet dans cette perspective de couvrir les activités des techniciens et des ingénieurs puisqu'on aborde les problèmes techniques.

relation entre le sujet et l'instrument (simulateur ou MOCN dans notre cas) au cours de l'activité (une activité constructive qui prend l'activité productive comme moyen)[49]. Nous avons ainsi introduit la distinction entre artefact et instrument[50]. Rabardel (2005, p 14) distingue deux rapports qu'entretiennent les sujets avec les technologies :

1. Un premier rapport, qui considère les technologies en tant qu'objets de l'activité. C'est selon Rabardel « le rapport principal dans les tâches de surveillance et de contrôle de dispositif » (Ibid., p 14).
2. Le deuxième rapport, instrumental est celui dans lequel le dispositif est en position de moyen, « de ressource mobilisée ou mobilisable pour l'activité productive du sujet » (Ibid., p 14).

Nous avons décrit la structure de l'entité instrumentale;

- D'une part sa composante artefact, qui peut être de nature technique ou matérielle, et aussi de nature plus immatérielle (les logiciels, ou encore, les concepts, les signes), (Rabardel, 2005, p 14).
- D'autre part une composante appelée schèmes d'utilisation, « normée par des invariants organisateurs de l'activité du sujet, dans les classes de situations et domaines d'activités qui sont habituellement les siens » (Ibid, p 14).

Le concept d'instrument constitue un premier pont entre une approche didactique disciplinaire et une approche didactique professionnelle dans le cas des formations technologiques supérieures. *L'objet technique, simulateur ou machine, est pensé comme un instrument* (Pastré, 2005, p 79) « médiateur de la connaissance, de l'action collective et de la conduite du sujet » (Cerrato-Pargman, 2005, p 161). C'est ainsi que dans cette approche, nous privilégions une analyse du simulateur en tant que « support approprié au déploiement d'une activité d'apprentissage » (Pastré, 2005, p 80). La figure suivante rend compte des éléments permettant le rapprochement entre les deux perspectives. La formation à une technicité caractérisée par trois composantes : matérielle, philosophique et sociologique est mise en relation avec l'approche instrumentale. L'objet technique de la composante matérielle de la technicité se rapproche de la notion d'artefact envisagé par l'approche instrumentale. Les autres composantes : la généralisation et la spécialisation dans l'utilisation des objets techniques, relèvent de l'élaboration des schèmes d'utilisation instrumentale des artefacts.

[49] En didactique professionnelle, on distingue activité productive (durant laquelle le sujet transforme le réel) d'activité constructive (dans laquelle, en transformant le réel, le sujet se transforme lui-même). (Pastré, 2005b, p 31).
[50] Voir état des lieux, paragraphe 2.1.3.1

Cela permet d'établir un premier pont entre l'approche disciplinaire de la formation technologique et la perspective didactique professionnelle à travers l'approche instrumentale.

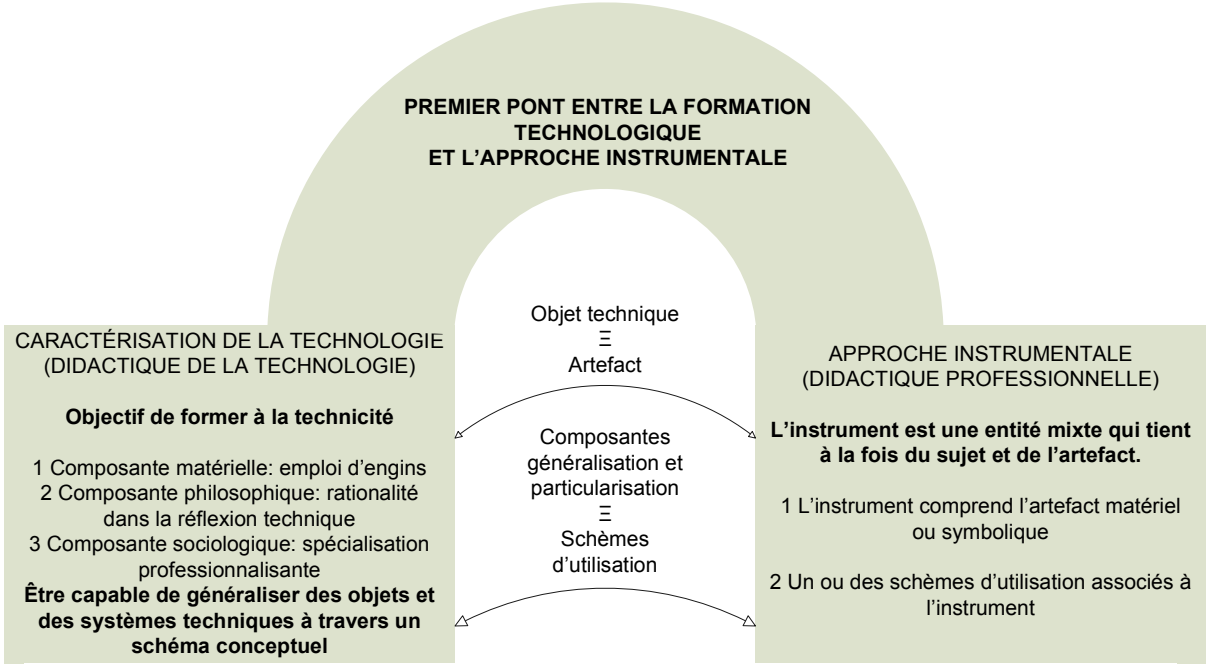

PREMIER PONT ENTRE LA FORMATION TECHNOLOGIQUE ET L'APPROCHE INSTRUMENTALE
CARACTÉRISATION DE LA TECHNOLOGIE (DIDACTIQUE DE LA TECHNOLOGIE)
Objectif de former à la technicité
1 Composante matérielle: emploi d'engins
2 Composante philosophique: rationalité dans la réflexion technique
3 Composante sociologique: spécialisation professionnalisante
Être capable de généraliser des objets et des systèmes techniques à travers un schéma conceptuel
Objet technique
Ξ
Artefact
Composantes généralisation et particularisation
Ξ
Schèmes d'utilisation
APPROCHE INSTRUMENTALE (DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE)
L'instrument est une entité mixte qui tient à la fois du sujet et de l'artefact.
1 L'instrument comprend l'artefact matériel ou symbolique
2 Un ou des schèmes d'utilisation associés à l'instrument

Figure 6 : Premier pont entre la didactique de la technologie et la didactique professionnelle

Les caractéristiques du milieu de la formation technologique supérieure permettent ainsi d'établir une première articulation théorique entre des approches en didactique des disciplines et en didactique professionnelle. Dans le paragraphe suivant, nous établissons une deuxième relation, par les objectifs de la formation.

3.2.3 TROISIEME MOMENT DE L'ARTICULATION ENTRE UNE APPROCHE DIDACTIQUE DISCIPLINAIRE ET UNE APPROCHE DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE

L'intention est maintenant d'élargir l'articulation entre ces deux perspectives, disciplinaire et professionnelle, en réfléchissant aux modalités d'apprentissage utilisées dans les formations technologiques supérieures.

La formation visée est à caractère pratique, le but est la mise en fonctionnement et le réglage d'une machine outil à commande numérique. L'objectif est d'apprendre « une technique » au sens de Vérillon (1999) qui évoque certaines caractéristiques[51], comme son caractère organisé

[51] Elles ont été évoquées dans le paragraphe 2.2, nous les rappelons ici.

(« toute technique représente une structure relativement invariante »), opératoire (« toute technique produit des transformations dans le réel »), anticipatoire (« dimension de recherche d'efficacité de la tâche ») et cognitif (« puisque sont condensatrices des connaissances « en acte » et « en artefact » et sont susceptibles d'être transmises –discursivement ou par des moyens non discursifs »), (Ibid, p 7).

La technicité (Cartonnet, 2000) associée dans la formation à cette technique (de mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN) couvre la *dimension matérielle* : ainsi, l' « engin » est le simulateur, la dimension de particularisation permet d'effectuer le réglage sur le simulateur, et celui de la MOCN associée au simulateur (la même machine et la même marque) et éventuellement ceux d'autres MOCN, différentes de celle qui a inspiré le simulateur.

La question de la technicité a été abordée par Martinand en 1994, lors de la mise en œuvre d'un projet éducatif, dans la construction de curriculums. Martinand (Ibid., p 139) élabore la notion de registre de technicité, afin d'éviter « une vision hiérarchique en niveaux […], alors que rien ne montre que les technicités puissent être ordonnées selon une seule dimension » (Ibid., p 139). Il envisage quatre registres de technicité.

- Le registre de la participation, « consiste à la capacité à s'immerger dans la pratique en y tenant un rôle non autonome, mais actif ».
- Le registre de la maîtrise, correspond à la « capacité d'intervention autonome ».
- Le registre de la lecture, « correspond à la capacité à identifier les différentes composantes caractéristiques de la pratique sociale de référence ».
- Le registre de la transformation correspond à la capacité à transformer, modifier, faire évoluer la pratique de référence elle-même, (Ibid., p 140).

Martinand signale que « l'erreur habituelle est de croire à une hiérarchie fondée sur le degré de symbolisation ; mais il vaut mieux penser leur hétérogénéité relative » (Ibid., p 140). Il relève aussi deux problèmes dans l'application de cette notion :

1. Un premier problème concerne les savoirs (il parle d'îlots d'intelligibilité) attachés à chaque niveau de technicité. Selon Martinand (1994, p 140) certains de ces « îlots d'intelligibilité » ne proviennent pas d'une élaboration scientifique, parce qu'ils sont attachés à d'autres pratiques. Ils sont ainsi méprisés dans le système universitaire mais une étude didactique (de sources, de fonctionnement, d'efficacité) mérite d'être effectuée.

2. Un deuxième problème concerne la formation à une technique associée à un instrument particulier, en relation avec la composante sociologique de la technicité. Cette formation à une technique trouve aussi des freins, selon cet auteur, en France. Une voie de solution pour envisager une éducation technologique, consisterait à « réévaluer les technicités correspondantes, sans effort pour mettre en œuvre les apprentissages vers les registres de technicité visés » (Ibid., p 141)

Ainsi, les registres de technicité visés sont mis en relation avec les « îlots d'intelligibilité », originaires des pratiques diverses. Dans le cadre de la présente recherche, ces « îlots d'intelligibilité » correspondent aux pratiques d'un opérateur et d'un chercheur.

Nous introduisons aussi la notion d'expertise, développée par Hoc (1991), et caractérisée en opposant l'expert au novice. Il affirme que ce qui caractérise l'expert dans une situation est d'avoir élaboré de nombreux automatismes et des règles d'action, sans que cela ne l'empêche de mobiliser des connaissances conceptuelles lors de nouvelles situations de résolution de problème. La régulation sur des automatismes, continue Hoc, s'effectue par le sujet à travers des propriétés qui sont pertinentes dans l'action.

Pastré (1999, 2006) utilise aussi cette opposition expert-novice pour expliquer le processus d'apprentissage par activité. Il introduit la notion de structure conceptuelle de la situation, qui représente « l'ensemble des éléments invariants qu'on trouve mobilisés chez tous les sujets ayant une action efficace » (Pastré, 2006, p 160), donc chez les experts. Il définit (Ibid., p 160) ensuite le modèle opératif, en tant que représentation que se fait le sujet d'une situation dans laquelle il est engagé. Le modèle opératif est éloigné de la structure conceptuelle, dans le cas de novices ou proche dans le cas des experts.

La figure 7 permet d'illustrer le deuxième pont entre les approches de didactique de la discipline de la technologie et celles de la didactique professionnelle. Dans la situation de formation étudiée par cette recherche, une technique est visée, avec un registre de technicité déterminé. Ce dernier peut être associé à une pratique professionnelle : celle d'un opérateur expert dans la mise en œuvre et le réglage d'une machine outil à commande numérique.

Ce rapprochement a été aussi développé par Barbier (1996, p 7) qui signale déjà à l'époque les tentatives :

> « d'explorer la production de savoirs à partir des pratiques, pour des pratiques, et le cas échéant avec les acteurs de ces pratiques […], ces tentatives privilégient l'analyse des activités réelles, la prise en compte des significations accordées par les acteurs, la recherche des outils conceptuels qui soient eux-mêmes générateurs des savoirs ».

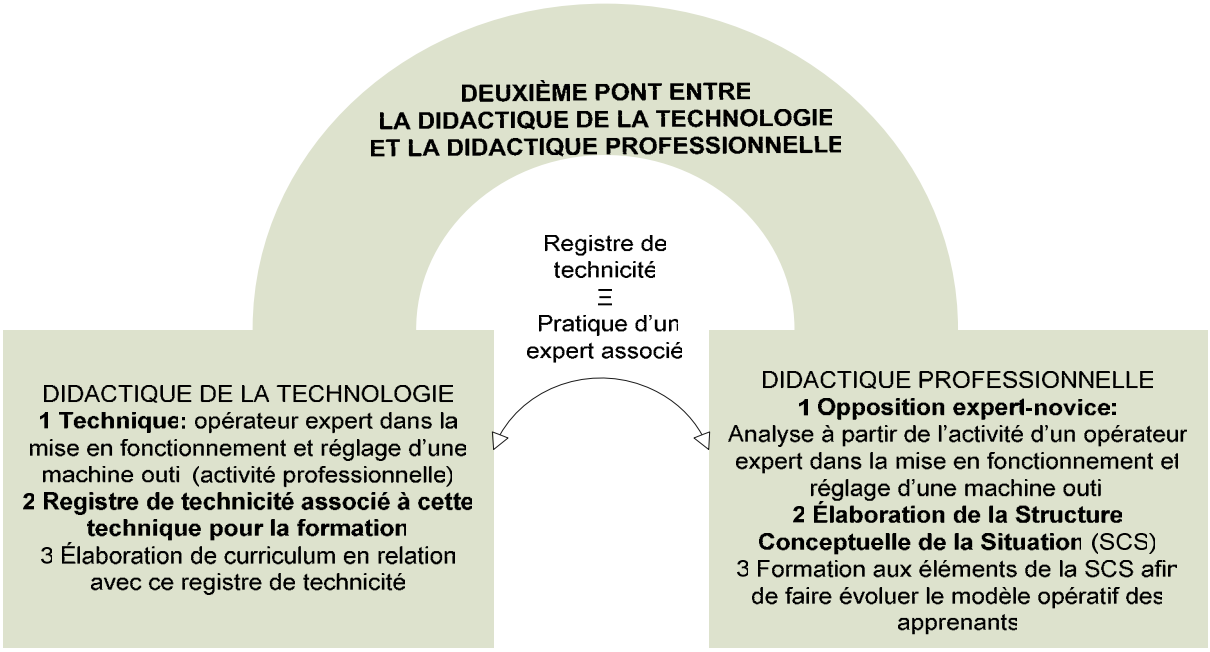

DEUXIÈME PONT ENTRE
LA DIDACTIQUE DE LA TECHNOLOGIE
ET LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE
Registre de technicité
Ξ
Pratique d'un expert associé
DIDACTIQUE DE LA TECHNOLOGIE
1 Technique: opérateur expert dans la mise en fonctionnement et réglage d'une machine outi (activité professionnelle)
2 Registre de technicité associé à cette technique pour la formation
3 Élaboration de curriculum en relation avec ce registre de technicité
DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE
1 Opposition expert-novice:
Analyse à partir de l'activité d'un opérateur expert dans la mise en fonctionnement et réglage d'une machine outi
2 Élaboration de la Structure Conceptuelle de la Situation (SCS)
3 Formation aux éléments de la SCS afin de faire évoluer le modèle opératif des apprenants

Figure 7 : Deuxième pont entre la didactique de la technologie et la didactique professionnelle

L'étude et l'analyse de l'activité d'un opérateur expert sont envisagées dans la didactique professionnelle à travers l'élaboration de la structure conceptuelle de la situation (SCS). Les éléments constitutifs de cette SCS sont la base pour un projet de formation (en didactique professionnelle), voire pour l'élaboration d'un curriculum (en didactique de la technologie). Ces deux approches sont ainsi complémentaires. La prise en compte de l'expertise, pour un registre de technicité donné (en didactique de la technologie), et la référence à la pratique professionnelle efficace, dans ce registre et pour cette technique, constituent la tâche de la recherche en didactique posée par Martinand (1994, p 140).

3.3 LA CONSTRUCTION DU CURRICULUM DANS LE CONTEXTE UNIVERSITAIRE TECHNOLOGIQUE

Dans l'état des lieux sur la construction de curriculums[52], dans le contexte universitaire technologique deux idées ont été avancées :

1. Les institutions universitaires entretiennent des relations privilégiées avec le monde industriel : c'est la question de la référence.
2. Les objectifs[53] d'une formation technologique en termes d'acquisition de compétences sont relatifs au projet éducatif visé par la technicité (et son registre).

[52] Voir état des lieux, paragraphe 2.1.1.2
[53] Voir état des lieux, paragraphe 2.1.2.1

Le but de cette partie est d'articuler ces aspects, en montrant la prise en compte de la référence au contexte industriel dans l'élaboration des contenus de formation qui visent l'acquisition de certaines compétences techniques. Nous allons ainsi clarifier le rôle et les limites d'une approche par compétences, par une démarche inspirée de la didactique professionnelle et adaptée à un contexte de formation initiale.

Commençons par un premier regard sur le syllabus de la formation concernée. Celle-ci s'organise autour des enseignements scientifiques généraux durant les deux premières années, et conduit à une spécialisation à partir de la troisième année. Cette organisation des formations technologiques supérieures a été relevée par Sonntag (2007). Cet auteur étudie les curriculums des formations des ingénieurs, et met en évidence l'existence d'une architecture relativement générale et stable. Nous pouvons élargir ces conclusions aux caractéristiques du CUFR de Champollion. En effet, le programme de la Licence Sciences Technologies et Santé (STS), spécialité en Physique, Chimie et Ingénierie (PCI)[54] comprend des enseignements scientifiques dans les premières années (mathématiques 1, 2 et 3 ; informatique, physique fondamentale, analyse 1 et 2, mécanique du point, électronique, chimie organique sont quelques uns des titres des modules de formation en première année de licence). Progressivement, les enseignements sont orientés suivant les spécialisations professionnelles. On trouve ainsi à partir du semestre 5 (donc en troisième année de licence) : génie mécanique, électrotechnique, résistance des matériaux, moyens de production, bureau d'étude, etc. Dans tout le parcours sont inclus des modules d'ouverture à d'autres domaines et les enseignements des langues étrangères.
Sonntag (2007) met aussi en évidence que « ces enseignements s'organisent autour d'une architecture centrée sur les compétences professionnelles » (Ibid., p 21), par des pratiques pédagogiques telles que la formation autour de groupes classes, la pédagogie par projet, les projets de fin d'étude, etc.

3.3.1 LA QUESTION DE LA REFERENCE DANS LA CONSTRUCTION DE CURRICULUM

En ce qui concerne la question de la référence dans la construction des curriculums, le contexte industriel vient au premier plan. La pratique sociale de référence a été définie par

[54] Syllabus 2007-2008, disponible sur http://www.univ-jfc.fr/form_sciences/pci/presentation.php, consulté le 26/06/2007

Martinand (1983). Cette notion interroge les rapports entre les choix de contenus et les objectifs, avec la définition de démarches et la planification d'activités, afin d'apprécier la cohérence des éléments de curriculum en fonction d'un choix préalable. Il s'agit « de garantir une certaine authenticité des activités scolaires par rapport aux activités industrielles » (Ibid., p 233)[55]. Pour Martinand (1989) un des apports de cette notion est de permettre de penser la référence en termes d'écarts à analyser, de choix et de cohérence. Nous avons aussi déjà avancé certains décalages entre le milieu de la formation et le contexte industriel[56], notamment concernant l'organisation physique de l'espace et les différences des rôles. Les écarts sont aussi relatifs aux activités industrielles et / ou de recherche et aux activités scolaires. En effet, dans notre recherche, les acteurs de l'élaboration des savoirs, des curriculums et de la formation sont les mêmes, (les enseignants chercheurs sont à la fois liés au contexte industriel et aux activités de recherche), nous formulons l'hypothèse de l'existence de références dans les activités proposées aux étudiants, relevant à la fois de la recherche et de l'industrie.

Pour Martinand (1989): « le choix de la référence dépasse d'ailleurs les acteurs du système scolaire et touche au politique » (Martinand, 1994, p 137). Dans le contexte de notre recherche, le choix est porté en aval par le modèle d'université dans lequel s'inscrit l'institution. Cependant, le choix des contenus d'enseignement dépend en amont des disciplines concernées et des enseignants chargés d'assurer les cours.

La cohérence est assurée par la fonction critique de vigilance épistémologique (Chevallard, 1994, p 167) propre à la didactique. Il s'agit d'affirmer l'activité proposée en termes de buts et de moyens.

Peut-on distinguer la pratique sociale de référence de la pratique professionnelle future des étudiants ? Dans les enseignements technologiques universitaires la pratique sociale prise comme référence est une pratique professionnelle (industrielle), généralement proche de celle qu'exerceront les étudiants. Par exemple, dans le module de la formation concernée par notre recherche, les étudiants sont en L3 et deviendront donc des techniciens supérieurs, telle sera leur pratique professionnelle future. Pourtant, l'objectif du cours avec simulateur est d'introduire la notion de réglage d'une machine outil à commande numérique (MOCN), en utilisant un simulateur de machine.

Ce décalage entre une pratique scolaire proposée et une activité professionnelle future a été justifié d'abord par Cartonnet (2000, p 59) qui relève le double but des enseignements

[55] Voir paragraphe 2.2.1.1 d'état des lieux sur la transposition didactique externe.
[56] Voir cadre conceptuel, paragraphe 3.1.1.1

pratiques dans la formation technologique : la maîtrise du domaine conceptuel associé et l'apprentissage du métier concerné par la situation, dans le cas de la formation visée par cette recherche, le métier d'opérateur de machine outil à commande numérique.

Mayen (2004) alerte sur la confusion possible entre « le niveau de responsabilité qui relève de l'organisation sociale du travail et le niveau de compréhension des situations pour l'action » (Ibid., p 34). Il propose une élaboration de référentiels de formation à partir de l'organisation cognitive de l'activité et les tâches réalisées ou à réaliser pour prendre en compte les situations telles qu'elles apparaissent et non pas, telles qu'elles sont définies par l'organisation sociale du travail (Ibid., p 34).

La question de la référence est ainsi abordée au sens d'un repère pour le choix des activités proposées aux étudiants, et s'éloigne d'une unique conception pré-professionnalisante des formations technologiques supérieures. Deux pratiques sociales apparaissent comme référence dans le contexte de la formation étudiée par la présente recherche :

- D'une part l'activité industrielle qui offre une référence naturelle pour les activités de formation en contexte universitaire technologique. Le choix s'effectue en relation avec la compréhension des situations pour l'action.
- D'une autre part, l'activité de recherche exercée par les enseignants qui apporte certains résultats des recherches menés au sein des laboratoires scientifiques. Ceux-ci peuvent constituer une autre source d' activités proposées aux étudiants.

Dans la partie suivante, les objectifs de la formation dans la construction du curriculum seront mis en relation avec la professionnalisation dans les formations et plus particulièrement, avec la notion de compétence.

3.3.2 LES OBJECTIFS DANS LA CONSTRUCTION DU CURRICULUM

Le curriculum s'intéresse en partie aux objectifs visés en termes d'apprentissage des étudiants dans leurs parcours de formation. La formation technologique supérieure est sensible aux discours provenant du contexte industriel, et est orientée vers la professionnalisation. Fraysse, en 2006, a consacré un ouvrage à la professionnalisation des ingénieurs. Dans le chapitre IV, Cartonnet (2006, pp 87-104) caractérise la valeur pré-professionnalisante des formations technologiques par l'enseignement de la capacité de « particularisation ». La caractérisation de la technologie par l'enseignement à une technicité[57] peut être mise en relation avec la professionnalisation. Cartonnet (Ibid., p 89) affirme que :

[57] Voir cadre conceptuel, paragraphe 3.1.2.2

> « Former à cette capacité de particularisation est pré-professionnalisant car celle-ci permet d'accéder à la technicité (Combarnous, 1984) constitutive de la référence professionnelle choisie. Pour le jeune formé, cette capacité guide le passage d'un registre de technicité dit de « participation » à un registre de technicité dit « de maîtrise » ».

Cependant, Cartonnet (2006, p 89) relève la difficulté d'ordre économique et intellectuelle, d'enseigner à cette technicité dans une formation initiale. L'objectif doit être, selon cet auteur (Ibid, p 89), de permettre la participation des formés aux activités avec un spécialiste, afin de les préparer à transformer la participation en maîtrise.

> « En centrant les formations technologiques sur cette capacité de particularisation nous préparons cette transformation car la participation est alors guidée par la volonté d'expliciter les particularisations propres au champ de spécialité dans lequel le jeune formé a été embauché. Et le registre de technicité dit « de maîtrise » est alors atteint lorsque l'individu sait lui même particulariser l'existant technique aux milieux de fonctionnement qui caractérisent le champ de spécialité dans lequel il a été embauché ».

Ce paragraphe illustre bien la conception de la formation technologique initiale envisagée par cet auteur. Celui-ci admet le besoin de relier la particularisation à la généralisation. La première des capacités permettrait la pré-professionnalisation dans ces formations. La deuxième : la généralisation, est indispensable selon lui pour l'acquisition d'un schéma conceptuel représentant une classe d'équivalence entre des systèmes techniques existants (Ibid., p 88).

Afin d'articuler une approche didactique disciplinaire et didactique professionnelle[58], un lien théorique entre une technique à enseigner selon un registre de technicité déterminé (par les objectifs de la formation visée) et sa pratique professionnelle de référence a été établi. La pratique professionnelle (pratique de référence) est efficace lorsque la personne qui l'exécute est experte, ou compétente. La notion de compétence peut servir aussi à caractériser l'opposition expert-novice, selon la perspective développée par Pastré et autres (2006, p 151). Ils proposent de comparer la compétence d'une personne A avec celle d'une personne B, dans une situation et à un moment donné. Leur perspective est à la fois différentielle (puisqu'elle s'appuie sur la différence entre deux personnes) et développementale (parce qu'elle permet de mesurer la différence intra-individuelle au cours du développement). L'élément essentiel de leur définition de la compétence porte sur la considération de l'activité et de sa forme.

Cette notion de compétence a été développée pour rendre compte du processus de développement des schèmes (au sens de Vergnaud) qui opère chez les personnes pour faire face à des situations problèmes nouvelles (A est plus compétent s'il est moins démuni devant une situation nouvelle, jamais rencontrée auparavant). Cette notion a été fournie au sein de la

[58] Voir cadre conceptuel, paragraphe 3.1.1

didactique professionnelle qui, rappelons-le a pour but d'analyser le travail en vue de la formation des compétences professionnelles.
L'acquisition de compétences est donc liée au développement de schèmes. Ceci correspond à un registre de technicité de l'ordre de la transformation – comme évoqué par Cartonnet (2006, p 88), à la généralisation et à la particularisation. La généralisation permet d'acquérir un schéma conceptuel représentant une classe d'ensemble de systèmes techniques avec une certaine équivalence. La capacité de particularisation « consiste à adapter un de ces schémas généraux à un milieu de fonctionnement particulier » (Ibid., p 88).
Cependant, le registre de technicité de transformation est selon Cartonnet (2006) difficilement atteint dans une formation initiale, des raisons économiques et intellectuelles ont été évoquées. Par rapport aux compétences, une raison temporelle semble gêner l'étude de son développement. Mais nous adhérons à l'idée que les compétences commencent à se construire en formation initiale.

L'acquisition de compétences est un processus qui demande du temps (Vergnaud, dans un congrès Vygostki, à Albi, en 2007 parlait de cinq à dix ans !). L'évaluation d'un tel processus d'un point de vue méthodologique, implique des études longitudinales, difficilement envisageables dans le contexte de la formation initiale. Les étudiants dans cette formation ont un seul module portant sur les machines outils à commande numérique et ils vont ensuite vers des parcours très différents, ce qui rend difficile leur accompagnement dans les années qui suivent leur formation initiale. Une des limites de la présente recherche, consiste dans le fait de ne pas pouvoir étudier l'évolution des compétences chez les apprenants au delà de la situation de formation initiale.

Les compétences peuvent être abordées en termes de performance, en relation avec la structure conceptuelle de la situation. Du point de vue de l'évaluation des compétences des étudiants face aux situations pratiques avec simulateur, il est possible de mesurer l'écart entre les actions des étudiants et la structure conceptuelle de la situation, associée à une représentation d'action efficace. De la même façon, les évaluations de la « professionnalisation » se font en termes de performance face à l'activité.

Ce paragraphe a permis d'aborder la question des objectifs dans la construction de curriculum en termes de registre de technicité et de professionnalisation, avec les trois dimensions de la technicité. Nous avons montré, d'un point de vue théorique une limite de la présente recherche, fondée sur le fait qu'en formation initiale (étudiée ici) les compétences

professionnelles ne peuvent être pas complètement construites. L'étude de leur élaboration nécessite des études longitudinales.

Une autre dimension à prendre en compte dans la construction de curriculum concerne la définition des contenus proposés. La didactique professionnelle fournit des éléments de réponse et propose par exemple d'utiliser des situations problèmes[59] issues du contexte industriel.

3.3.3 LA PLACE DE LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE DANS LA PROPOSITION DE CONTENUS D'ENSEIGNEMENT

Dans le cadre de la didactique professionnelle, deux auteures, Rogalski et Samurçay (1994), indiquent que les « problèmes liés à l'efficacité, à la légitimité ou à la pertinence des savoirs et le rôle des institutions et de la noosphère » (Ibid., p 36) changent dans le contexte de la formation technologique et supérieure par rapport aux contextes plus scolaires. En effet :

1. Les propriétés des éléments qui interagissent dans le schéma didactique (contenu, formateur, apprenant) changent.
2. La mise en scène des savoirs, les problèmes liés au contrat didactique, les critères de construction et de fonctionnement des situations didactique changent.

Pour ces auteures, « la légitimité des savoirs (dans ces formations) ne se négocie plus par rapport à l'institution mais par rapport à la pertinence de ces premiers quant à l'activité professionnelle » (Ibid., p 36). L'activité professionnelle est source d'inspiration pour le choix des situations didactiques. Dans l'état des lieux[60], l'analyse du travail a été abordée en relation avec la formation. Des outils d'analyse des activités professionnelles ayant comme objectif la modélisation de situations didactiques ont été explicités. Les analyses du travail dans la perspective adoptée par la didactique professionnelle débouchent sur l'élaboration de la structure conceptuelle de la situation et dans la proposition de situations didactiques permettant l'évolution des modèles opératifs vers les structures conceptuelles. Quelles sont les situations modélisées ? Samurçay et Pastré (1995) parlent des situations problèmes construites « à partir d'une situation professionnelle de référence, pour mettre en scène une gamme de problèmes pour lesquels le concept qu'elle mobilise constitue la réponse » (Ibid., p 25).

[59] La situation problème a été définie lors de l'étude exploratoire, voir paragraphe 1.2.2
[60] Voir paragraphe 2.3.1 d'état des lieux en relation à l'analyse du travail pour la formation.

L'approche portée par cette recherche tente d'éclairer les choix des situations proposées dans le contexte universitaire technologique au regard des situations problèmes issues du contexte industriel.

Les éléments constitutifs de la structure conceptuelle sont:

- les concepts organisateurs, permettant le diagnostic de la situation et servant à la guider ;
- les indicateurs, qui mesurent la valeur du concept organisateur à un instant précis ;
- les classes des situations, ou des régimes de fonctionnement de la machine outil à commande numérique et qui permettent d'identifier les règles d'action à utiliser
- les stratégies attendues, en fonction du niveau de conceptualisation (Pastré et autres, 2006, p 164)

L'identification des deux premiers éléments et les situations et stratégies qui sont associées, permet de les expliciter lors de la situation de formation. Pastré (2008) propose l'utilisation de la structure conceptuelle de la situation comme alternative à l'élaboration de référentiels de la formation. L'analyse préalable de l'activité sur machine outil à commande numérique est ainsi justifiée dans cette recherche par trois raisons :

1. La première renvoie à l'étude exploratoire, l'explicitation d'une typologie déterminée du simulateur, pour la résolution de problèmes, exige une analyse de la situation de travail (Pastré, 2006b, p 208).
2. La deuxième porte sur le décalage entre la pratique professionnelle étudiée et la pratique professionnelle future des étudiants. Ce décalage a été abordé d'un point de vue théorique, par rapport à la professionnalisation des étudiants (Cartonnet, 2006), au modèle d'université et à l'organisation sociale du travail (Mayen, 2004). Il s'agit d'étudier la situation de référence qui correspond au registre de technicité à atteindre.
3. Enfin, la troisième consiste à étudier la situation proposée. L'étude didactique exige une connaissance approfondie de la tâche, d'un point de vue cognitif et d'un point de vue épistémologique.

Il est donc nécessaire de comprendre la situation professionnelle qui sert de référence aux situations proposées aux étudiants. Le travail est une des sources dans l'élaboration des contenus de formation dans les filières technologiques universitaires. La conséquence de cette spécificité, est que l'analyse épistémologique des savoirs, classique dans les didactiques disciplinaires (notamment dans la didactique de mathématiques), se complexifie dans la situation d'enseignement visée dans cette recherche. Cette analyse porte sur la prise en

compte des diverses sources dans la construction des contenus, notamment les situations issues du contexte professionnel.

3.4 PRESENTATION DE LA SITUATION DE FORMATION AVEC SIMULATEUR

Le simulateur a été déjà abordé dans deux moments du cadre conceptuel. D'une part, lors de l'étude exploratoire, ce qui a permis de l'identifier du point de vue de sa conception : il est conçu à des fins de formation, avec une logique de résolution de problèmes. D'autre part, en relation avec la caractérisation de la formation concernée : le simulateur est un instrument (au sens de Rabardel) qui sert de support pour l'apprentissage.

3.4.1 PRESENTATION DU SIMULATEUR

Le simulateur est un instrument qui permet aux étudiants de s'engager dans une situation problème. La conception technique de l'artefact est pensée selon un développement temporel. Il possède un noyau central et un ensemble de modules qui lui sont rattachés. Chaque module confère au simulateur une capacité de simulation supplémentaire, en relation avec des spécificités que les concepteurs ont choisis, par exemple, la prise en compte de l'évolution temporelle des caractéristiques physiques de la broche.

Une société de conseil et d'ingénierie en technologies avancées a pris en charge le codage du noyau central. Il a été développé sur plate-forme Unix (Linux), dans un environnement Qt/ OpenCasCade.

Le simulateur est présenté par les concepteurs « comme représentant fidèlement l'architecture de la machine utilisée (tour ou fraiseuse, broche horizontale ou verticale), l'interface homme-machine, les commandes, les déplacements. De plus, en l'état du développement actuel, il permet de simuler la prise des origines de la machine, le palpage des points de référence et la mesure des jauges outils » (Cohen et autres, 2007).

Le simulateur permet d'enregistrer dans un fichier les actions effectuées par les utilisateurs, en termes de commandes effectuées (appuis sur les touches) et de la durée des appuis. Ces fichiers, nommés « did » peuvent être chargés, comme n'importe quel programme Commande Numérique[61] (CN) afin de visionner les actions. Seul inconvénient, le tempo des actions

[61] Un programme Commande Numérique est un programme d'exécution d'une trajectoire déterminée élaboré afin d'effectuer un certain enlèvement de matière.

effectuées par l'utilisateur diffère du tempo de vision du fichier enregistré ; en effet, le simulateur ne prend pas en compte les pauses[62].

Quelques captures d'écran permettront au lecteur de comparer l'interface du simulateur en mode fraisage et en mode tournage :

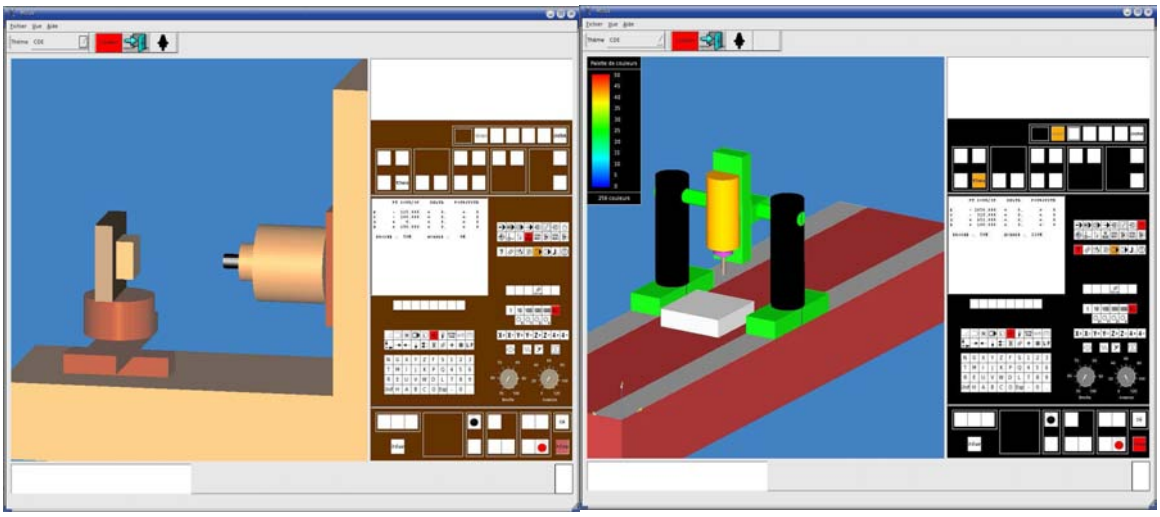


Figure 8: Le simulateur fonctionnant comme fraiseuse, à gauche et comme tour à droite

3.4.2 LES REFERENCES THEORIQUES POUR L'ETUDE DES PROCESSUS TRANSPOSITIFS

3.4.2.1 La transposition didactique externe

Des savoirs sont modélisés par les concepteurs du simulateur. Dans la perspective de la transposition didactique externe, le choix de ces savoirs, et les transformations qu'ils subissent ont été énoncés lors de l'état des recherches[63]. Dans le contexte de la formation universitaire technologique, on a relevé une tendance à parler de pratiques, de situations efficaces et de références. Ainsi, le processus de transposition didactique externe se réfère à la distance entre les savoirs de référence et les savoirs à enseigner. La spécificité du contexte universitaire technologique conduit à ce que les personnes qui élaborent les syllabus peuvent être les mêmes qui assurent les cours. Dans le souci d'une double approche didactique disciplinaire et professionnelle, il semble important d'indiquer que les objets de savoirs relèvent du champ des pratiques. En effet, deux références à des savoirs et / ou des pratiques efficaces ont été mises en évidence.

- Celle des savoirs modélisés à partir des concepts pragmatiques, relève d'un premier rapport entre contexte de la recherche et contexte industriel.

[62] Une description plus approfondie correspondant au fichier .did est disponible dans l'annexe 3, document 9.
[63] Voir état des lieux, paragraphe 2.2.1.

- Celle de l'étude des situations de travail dans les pratiques efficaces[64].

Cette brève approche conceptuelle laisse encore des questions ouvertes. La spécificité du contexte étudié, et les rôles des acteurs concernés par le développement du simulateur, permettent d'ouvrir quelques voies de recherches pour l'étude de la transposition didactique externe en s'intéressant aux modélisations effectuées par le laboratoire de recherche concernée.

3.4.2.2 La transposition didactique interne

La transposition didactique interne constitue l'étude du savoir effectivement enseigné. L'état des lieux sur cette notion a permis de mettre en relief la constitution de ce savoir dans la classe à travers la « mise en texte » du savoir. Afin d'approfondir la perspective méthodologique énoncée de Schneuwly (2007 p 177), à travers l'analyse multidimensionnelle de synopsis de séance, Tiberghien et autres (2007, p 96) pointent que ce savoir enseigné « est en partie éphémère » (Ibid., p 96). Ces auteurs explicitent comment la méthodologie traditionnelle de la didactique, notamment les enregistrements vidéos, permettent « d'accéder aux productions orales et gestuelles publiques du professeur et de la majorité des élèves » (Ibid., p 96). Les analyses menées suivant cette approche s'appuient sur une conception de la signification en situation (attribué à un acteur donné en situation). Cela permet une reconstruction du savoir enseigné par le chercheur, à partir notamment de l'analyse des savoirs à enseigner et de la pratique effectivement observée dans la classe.

La réflexion de Pastré (1999) selon laquelle les objets d'étude en didactique professionnelle relèvent des champs de pratiques sera mise en relation avec une étude disciplinaire originale. Cette recherche inclut dans cette perspective l'analyse d'une dimension de l'activité des étudiants, à travers les fichiers « did ».

3.4.2.3 La prise en compte des processus transpositifs dans le contexte de la formation technologique supérieure

Dans la différenciation effectuée par la théorie des processus transpositifs, la transposition didactique externe, portant sur l'analyse de la distance entre les savoirs de référence et les savoirs à enseigner, s'arrête aux prescriptions officielles. Nous avons signalé la spécificité de la noosphère dans le cas de la formation technologique supérieure : les acteurs qui élaborent les concepts techniques, participent aussi à l'élaboration du curriculum et également le

[64] Voir paragraphe 2.1 d'état des lieux

mettent en œuvre. Dans le cas concret étudié dans le cadre de notre recherche, ces mêmes acteurs, développent le simulateur qu'ils utilisent en formation. La ligne de séparation entre le chercheur qui élabore des savoirs et l'enseignant qui développe un simulateur, ou entre la noosphère et l'enseignement, est diffuse.

Le simulateur est dans le cas de la présente recherche, en partie « porteur » de la transposition didactique externe, parce que c'est un artefact élaboré par un groupe de chercheurs, et de la transposition didactique interne, car c'est un moyen d'enseignement. C'est la raison pour laquelle dans les analyses des processus de transposition, nous spécifierons les transformations que subissent les savoirs en « dehors de la classe » et les transformations qui suivent « dans la classe »[65].

L'étude de la transposition didactique dans la classe s'appuie sur les données issues de la transposition didactique en dehors de la classe et sur l'analyse du fonctionnement des systèmes didactiques en situation de formation. Les conséquences de cette étude, compte tenu des spécificités déjà énoncées du contexte visé, dépassent l'identification des décalages entre les savoirs à enseigner et les savoirs enseignés. En effet, cette étude contribue à éclairer la relation entre le contexte de la formation technologique supérieure et le contexte professionnel industriel et permet d'avancer dans la compréhension du fonctionnement des systèmes didactiques, dans un contexte particulier, celui de l'université, et avec un instrument, un simulateur de machine outil à commande numérique.

3.5 L'ETUDE DU FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DIDACTIQUES AVEC SIMULATEUR

Le système didactique est un système d'interactions entre trois éléments constitutifs : le savoir en jeu, l'apprenant et l'enseignant. Dans la présente recherche, son étude prend en compte :

- D'une part, les apports théoriques des didactiques de disciplines, afin d'étudier les situations de classe en Travaux Pratiques ou Travaux Dirigés (TP ou TD) en contexte universitaire technologique.
- D'autre part les apports théoriques de la didactique professionnelle sur les situations de formation avec simulateur (Pastré, 2007-2006, Samurçay, 2006).

[65] Nous pouvons faire le rapprochement de ce que Durand (1996) d'un point de vue de l'organisation de la pratique enseignant distingue, à savoir le travail en dehors de la présence et en présence des élèves.

3.5.1 VERS UNE APPROCHE THEORIQUE D'ETUDE DES SITUATIONS D'ENSEIGNEMENT AVEC SIMULATEUR

L'étude du fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur constitue la dernière articulation visée par ce cadre conceptuel. Des trois pôles d'un système didactique, le pôle de contenus d'enseignement a été largement évoqué dans l'étude des processus de transposition. Quant aux deux autres pôles : celui de l'enseignant et celui de l'apprenant, cette perspective théorique combine une approche didactique professionnelle avec une méthodologie inspirée de la didactique comparée. Le rapprochement est aisé, parce que les didactiques disciplinaires ont largement profité des analyses de l'activité proposées par l'ergonomie de langue française (Vergnaud, 2008).

Les influences du contexte de la formation technologique supérieure sur le fonctionnement du système didactique ont déjà été évoquées : le contrat didactique, la pertinence dans le choix de contenus, etc. La situation de formation a été partiellement décrite : durant des séances de travaux dirigés et /ou pratiques (TD et/ou TP), il s'agit d'effectuer la mise en fonctionnement et le réglage sur un simulateur, et ensuite sur une machine outil à commande numérique (MOCN).

Rappelons que l'adoption d'une perspective didactique professionnelle a été justifiée par :

- le contexte (proximité du monde industriel),
- la situation de formation elle-même (les apprenants développent une activité constructive à travers une activité productive),
- la discipline concernée, la technologie (l'utilisation des instruments, systèmes techniques ainsi que les sources d'élaboration des savoirs).

Ensuite, l'adoption d'une perspective de didactique de la technologie a été justifiée par les spécificités disciplinaires, en relation à la référence, aux registres de technicité, etc.

3.5.2 L'ANALYSE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-CLASSE : DU CÔTE DE L'ENSEIGNANT

Les apports théoriques de la didactique professionnelle permettent d'étudier la co-activité entre enseignant et apprenant, par les interactions en situation de formation.

L'importance du rôle de l'enseignant a été évoquée par Samurçay (2005). Le professeur est en effet l'acteur principal « dans deux moments de la médiation sujet situation : la transposition et la gestion des situations » (Ibid., p 57). Pastré (2007) effectue une première étude de l'activité de l'enseignant sous l'angle de la didactique professionnelle, mettant en relief

notamment que « la tâche de l'enseignant est une tâche à dimensions (préoccupations) multiples, même si toutes sont orientées en direction des objets des savoirs » (Ibid., p 88).
L'analyse de l'activité de l'enseignant dans ce cadre théorique se limite aux effets des actions de l'enseignant sur l'orientation des actions des étudiants. Nous considérons avec Pastré (Ibid., p 91) que la mission essentielle des enseignants est de veiller à ce que l'apprentissage soit en cours chez les étudiants.

L'activité de l'enseignant consiste, comme l'indique Rogalski (2006b, p 87) à gérer un environnement dynamique dans lequel l'objet d'action concerne les étudiants. Elle a relevé diverses conséquences :

1. « L'enseignant doit déterminer un itinéraire cognitif avec les étudiants, « à travers une médiation entre la tâche et les élèves dans la situation « temps réel » d'une séance en classe […]
2. L'enseignant est à lui-même son propre instrument, (qui) exerce une médiation directe entre les élèves et leurs tâches […]
3. (L'enseignant) utilise essentiellement le langage pour agir […], la communication dans la classe est une forme de communication opérative, au sens où elle vise l'action et en est un composant intrinsèque » (Ibid., p 87)

L'analyse de l'activité de l'enseignant est ainsi abordée à partir des actions qu'il mène auprès des étudiants et des interactions verbales.
Pour analyser les interactions verbales nous suivrons le modèle développé par Rogalski (2006b, pp 85-110) inspiré de la didactique des mathématiques et de la psychologie ergonomique. Pour son outil méthodologique, cette auteure prend en compte les :

> « […] indicateurs linguistiques visibles dans le discours de l'enseignant, avec la visée majeure d'atteindre du non visible, à savoir l'organisation de l'activité, ses invariants pour un enseignant donné […] » (Ibid., p 85)

3.5.3 L'ANALYSE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-CLASSE : DU CÔTE DES ETUDIANTS

Afin de comprendre l'apprentissage des acteurs, quelques notions issues de la théorie de la conceptualisation dans l'action ont été mobilisées. Lors de l'état des lieux, les deux registres de la connaissance : pragmatique et épistémique, et les résultantes de son investissement dans une situation : modèle opératif et modèle cognitif, ont été évoqués.
Quand un sujet est confronté (et engagé) dans une situation, il développe son modèle opératif, en tant que représentation qu'il se fait de cette situation. Dans ce cas, la dimension de l'activité est productive, et le registre de la connaissance pragmatique, puisqu'il a pour but de réussir dans l'action.

Ce modèle opératif cohabite avec le modèle cognitif[66], cela correspond au registre épistémique de la connaissance, et on est dans la dimension constructive de l'activité[67].

> « Quand on est dans une situation dédiée à l'apprentissage, c'est l'activité constructive qui devient le but et l'activité productive devient le moyen. Cela veut dire que dans ce cas il faut une tâche (productive) pour servir de support à l'apprentissage (activité constructive). […] La tâche va être évaluée par un critère de réussite ; l'activité constructive qu'elle supporte demande d'autres critères : la réussite ne suffit pas. […] Tout apprentissage va fonctionner selon deux registres : le registre de la réussite de la tâche, qu'on peut appeler pragmatique ; et le registre de la compréhension et de la conceptualisation, qu'on peut qualifier d'épistémique » (Pastré, 2007, p 85)

Le modèle opératif subit des transformations durant l'apprentissage. Pastré (2005, pp 77-78) envisage ces transformations dans un processus de genèse conceptuelle[68].

Afin de développer la notion de genèse conceptuelle, Pastré (2005, p 78) illustre le cas des situations d'apprentissage professionnel initial dont le but est de « construire un minimum de compétences permettant de couvrir l'ensemble des classes de situations que n'importe quel professionnel doit savoir maîtriser » (Ibid., p 78). Dans ce cas, le modèle opératif se transforme profondément au cours de l'apprentissage, à chaque fois que le sujet est confronté à de nouvelles classes de situations. « Conséquence : ce qui est conquis en extension (élargissement de l'ensemble des classes de situations que le modèle permet de traiter) l'est simultanément en niveau d'abstraction » (Ibid., p 78). C'est dans ce sens que l'on peut parler de genèse conceptuelle. L'apprentissage est ainsi envisagé comme un processus dans lequel le savoir-artefact se transforme en savoir-instrument, par l'élaboration des schèmes dans une genèse conceptuelle, dans laquelle le modèle opératif de la situation se rapproche de la structure conceptuelle.

L'intérêt de cette approche est la visée analytique, permettant d'expliquer le processus d'apprentissage à travers l'activité des étudiants, ou plutôt d'abord à travers les traces recueillies sur l'activité des étudiants en situation de formation. Il s'agit d'étudier l'évolution des modèles opératifs en cours de l'activité en séance de Travaux Pratiques (TP) sur simulateur et sur machine. La perspective se limite en effet à l'analyse des échanges verbaux et des traces des actions effectuées sur le simulateur.

[66] Nous rappelons que le modèle cognitif est « la représentation du sujet de la situation en termes d'objets (de savoir), de propriétés sur les objets et de relations » (Pastré et autres, 2006, p 160)

[67] Voir état des lieux, paragraphe 2.3.3.1 les trois fonctions de l'activité productive.

[68] Ce concept se situe dans le prolongement de la théorie instrumentale de Rabardel. Cette théorie propose une double genèse participative; la première instrumentale, concernant la transformation d'un artefact en instrument et la deuxième genèse d'ordre conceptuelle, concernant l'élaboration des schèmes associés.

Résumé du chapitre 3 : cadre conceptuel

Ce troisième chapitre propose une articulation théorique de certaines notions des didactiques disciplinaire et professionnelle afin de permettre l'étude de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation.

La première partie du cadre conceptuel qui s'intéresse à l'élaboration des concepts (relatifs aux techniques) dans le contexte universitaire technologique a été abordée selon deux mouvements :
Un mouvement relève de l'apprentissage par l'exercice d'une activité. Il prend en compte l'institution dans laquelle les concepts relatifs aux techniques sont élaborés. Nous avons ainsi posé l'hypothèse d'une modélisation des problématiques issues des situations professionnelles.
Un autre mouvement s'inscrit dans une formation hautement technique et complexe. L'élaboration en formation d'un modèle cognitif précède ici l'élaboration d'un modèle opératif. Ce dernier s'élabore ainsi après une formation théorique (des concepts théoriques scientifiques et techniques) et par l'exercice de l'activité.

Dans une deuxième partie, il s'agit de caractériser la formation technologique supérieure. La demande d'habilitation de la formation concernée a permis de situer l'institution de formation dans le modèle universitaire de la recherche et de caractériser la relation entre la didactique de la discipline technologie et la didactique professionnelle.

La troisième partie a permis d'aborder la construction de curriculums dans la formation technologique supérieure selon les rapports entre le contexte universitaire technologique et industriel et les objectifs de la formation. Le rôle des acteurs dans l'élaboration et la mise en œuvre du curriculum a été identifié comme une spécificité de la noosphère dans le cas de cette formation universitaire.

La quatrième partie concerne l'analyse de la transposition didactique en dehors de la classe puis dans la classe. Elle tient compte des spécificités du contexte de la formation étudiée et du travail avec simulateur. L'analyse de la transposition didactique par les savoirs mis en jeu permet d'éclairer les rapports entre les deux contextes, professionnel et de la formation.

La dernière partie du cadre conceptuel s'intéresse à l'étude du fonctionnement du système didactique, avec utilisation du simulateur.

L'organisation de ce cadre conceptuel permet d'entrer maintenant dans le chapitre suivant qui traite de la problématique générale de recherche.

Chapitre 4 :
Problématique générale de recherche

CHAPITRE 4

PROBLEMATIQUE GENERALE DE LA RECHERCHE

La relation entre le contexte professionnel

et celui de la formation par l'analyse de la chaîne transpositive

4.1 Concernant l'élaboration des concepts techniques
4.2 Concernant l'élaboration du curriculum
4.3 Etude du fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur

Dans ce chapitre nous nous appuyons sur le cadre conceptuel pour organiser la problématique générale de la présente recherche. La première partie aborde l'élaboration des concepts relatifs à la technique. Ensuite, l'élaboration d'une partie du curriculum est l'objet de la deuxième partie. Enfin, la troisième partie de la problématique traite le fonctionnement du système didactique (avec simulateur).

L'objectif de la problématique est de présenter la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation par une approche didactique, à partir de l'analyse de la chaîne transpositive complète : depuis l'élaboration des concepts techniques, à sa mise en œuvre en situation de formation.

Nous rappelons tout d'abord le fil conducteur de la problématique de cette recherche: l'étude de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation technologique supérieure par la mise en œuvre d'un simulateur. Ce fil conducteur a permis d'organiser l'état des lieux autour de trois aspects :

1. Le premier aspect s'intéresse à l'analyse du travail pour la formation.
2. Le deuxième porte sur la technologie dans le contexte universitaire et selon une approche didactique.
3. Enfin le troisième aspect concerne les situations de formation avec simulateur. Les phénomènes de transposition ont été évoqués afin de rendre compte de ce processus dans l'institution de formation.

Deux parties sont clairement identifiées :

- D'autre part une approche en didactique professionnelle, permet de caractériser les formations aux machines outils avec simulateur.
- D'une part une approche en didactique de la technologie, permettant de caractériser la technologie comme discipline : l'évolution, les savoirs, le curriculum sont abordés.

Les notions mobilisées dans l'état des lieux de la recherche s'articulent dans le cadre conceptuel autour d'une relation entre le contexte professionnel et celui de la formation. Une première articulation permet de rendre légitime une double approche didactique professionnelle et didactique disciplinaire. Par cette double approche, une deuxième articulation est établie, entre la notion du modèle (Martinand, 1996) et l'élaboration des concepts techniques. Dans une troisième partie l'articulation des approches s'établit entre la pratique sociale de référence (Martinand, 1983) et la place de la didactique professionnelle, pour aborder l'élaboration d'une partie du curriculum. La quatrième partie concerne les notions relatives à la transposition didactique, en dehors de la classe et dans la classe. Enfin, la cinquième partie s'intéresse au fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur, l'articulation proposée mobilise les méthodes d'analyse des situations de classe et le cadre théorique de la conceptualisation dans l'action proposée par la didactique professionnelle.

4.1 ETUDE DE LA RELATION ENTRE CONTEXTE PROFESSIONNEL ET DE LA FORMATION PAR L'ELABORATION DES CONCEPTS TECHNIQUES

La première question abordée dans la problématique concerne l'élaboration des concepts techniques, dans un laboratoire de recherche en génie mécanique et à partir des concepts pragmatiques issus du contexte professionnel. Les questions d'orientation de cette recherche proposées sont relatives à ce processus d'élaboration des concepts.

4.1.1 PRESENTATION DE LA QUESTION DE RECHERCHE

La partie théorique de cette recherche a mis en évidence les rapports entre la discipline technologique et le monde industriel.

Afin d'illustrer ces rapports, nous avons cité d'abord l'approche historique qui met en évidence des liens entre les deux contextes, industriel et de la recherche et permet d'avancer une des questions de cette recherche :

Quelles sont les modalités d'élaboration des concepts relatifs à la technique ?

Dans la présentation d'un laboratoire de recherche en génie mécanique, une modalité d'élaboration théorique a été mise en avant : la modélisation. Cette notion, développée par Martinand (1994), a été d'abord introduite dans l'état des lieux[69]. Ensuite, la notion de modèle a été présentée lors du cadre conceptuel comme une voie d'exploration possible dans l'étude de l'élaboration des concepts techniques. Afin d'approfondir la question des rapports entre la technique et le monde industriel, il faut explorer les relations entre le contexte professionnel et celui de la recherche.

4.1.1.1 Le mouvement de théorisation des savoirs pragmatiques

Relatives au contexte professionnel de la production industrielle, les situations de travail sont caractérisées par des savoirs pratiques. Les concepts théoriques suivent une pragmatisation afin de devenir opératoires, selon un mouvement décrit dans le cadre conceptuel[70]. Concernant l'autre mouvement de théorisation à partir des savoirs pragmatiques, une première caractéristique des situations de travail industriel est la recherche de rentabilité économique[71]. La rentabilité rejoint ainsi l'efficacité, et celle-ci se développe en termes de productivité, qualité et fiabilité (Gagnepain & André, 1996, p 93). Ces composantes peuvent être aussi

[69] Voir état des lieux, paragraphe 2.2.1.1
[70] Voir cadre conceptuel, paragraphe 3.1.1
[71] Nous n'allons pas ici développer les termes de cette rentabilité, l'objectif se limite ici à mettre en évidence une recherche d'efficacité en lien avec la productivité, la qualité et la fiabilité dans les processus industriels.

identifiées en relation avec les raisons du développement cognitif de la technologie énoncées par Laudan[72] (1984) et que nous rappelons: l'échec fonctionnel de la technique actuelle, l'extrapolation à partir d'un succès, le déséquilibre entre techniques existantes et l'anticipation des échecs des techniques actuelles. Les besoins exprimés dans le contexte professionnel deviennent ainsi source d'inspiration pour l'élaboration des concepts. Cette élaboration sera étudiée dans un laboratoire de recherche en contexte universitaire.

Les concepts utilisés en situation de travail (concepts pragmatiques)[73] sont ainsi théorisés dans le champ du génie mécanique, par des recherches appliquées, afin d'élargir leur domaine de validité, le résultat de cette théorisation peut être un concept technique.

La question de recherche peut être formulée:

La théorisation des savoirs pragmatiques par le biais de la recherche appliquée permet-elle la production des concepts techniques ?

Cette question nous permet d'avancer vers les hypothèses de la problématique. Le paragraphe suivant s'intéresse à ce processus de théorisation.

4.1.1.2 Le processus de modélisation théorique

La notion du modèle proposée par Martinand (1996) nous semble particulièrement intéressante par son exigence pratique, qui impulse une réduction opératoire de l'objet technique. Cette réduction opératoire, renvoie au mouvement de pragmatisation des concepts théoriques, en formation, pour être utilisés dans l'action, ou tout simplement, à la visée pragmatique des concepts techniques.

Le point de vue scientifique du modèle, tente d'expliquer la forme (de fonctionnement) d'un objet technique. Cette visée scientifique peut être assimilée à l'élargissement du domaine de validité des concepts techniques en relation avec les concepts pragmatiques d'origine professionnelle et dont la validité est restreinte parfois à la situation de travail dans laquelle ils s'appliquent.

Relativement à la question de recherche, une hypothèse peut alors être formulée:

Dans la théorisation des savoirs pragmatiques, un processus de modélisation permet aux concepts techniques résultants de préserver leur visée pragmatique tout en élargissant leur domaine de validité

[72] Voir dans l'état des lieux, tableau 2

[73] Nous rappelons qu'un concept pragmatique peut être défini par ces trois caractéristiques : il est construit dans l'action, il permet d'organiser l'action et il est légitimé par la communauté de professionnels (Pastré, Vergnaud, Mayen, 2006, p 164), Voir aussi état des lieux, paragraphe 2.3.2

Les contextes intervenant dans l'exploration de cette hypothèse, sont décrits dans le paragraphe suivant.

4.1.2 DELIMITATION DE L'OBJET DE RECHERCHE

L'exploration de la question de recherche annoncée précédemment et l'hypothèse associée sont portées par l'étude des contextes professionnels et de la recherche, et par l'analyse du simulateur.

4.1.2.1 L'étude des contextes : le contexte professionnel

L'état des lieux des recherches a permis de mettre en évidence certaines caractéristiques des situations de travail qui s'intéressent au fonctionnement des machines outils à commande numérique[74]. Cela a permis de positionner l'étude du contexte professionnel dans la présente recherche. Cette étude vise deux fonctions énoncées par Samurçay et Rabardel (2004) :

- La fonction épistémique (compréhension des situations de travail), orientée vers la représentation du cycle de fabrication comme « un schème d'action matérialisé dans un dispositif technique » (Pastré, 2006, p19).
- La fonction pragmatique (transformation des objets de travail), orientée vers les conditions permettant une action efficace.

Dans la fabrication industrielle avec les machines outils à commande numérique (MOCN), le but est de fabriquer un maximum de pièces, dans un minimum de temps et avec la qualité requise -critères de productivité, qualité, fiabilité-. Ainsi, dans l'activité d'un opérateur sur MOCN, le réglage constitue la première et la principale phase de son activité. L'analyse du travail va donc se centrer sur cette activité de mise en fonctionnement et de réglage de la machine. Dans l'analyse de l'activité nous chercherons les concepts pragmatiques qui ont évolué par une modélisation théorique.

4.1.2.2 L'étude des contextes : le champ de la recherche en génie mécanique

Le deuxième contexte est la recherche scientifique. Dans le cadre conceptuel, une partie d'une équipe de recherche a été présentée[75]. La modélisation est explicitée dans la présentation de ce laboratoire comme l'accomplissement théorique des recherches appliquées. C'est dans cette équipe de recherche, qu'un projet (Mouv) a permis le développement du simulateur de MOCN. Les motivations de ce projet ont été évoquées lors de l'étude exploratoire. Afin

[74] Voir état des lieux, paragraphe 2.1.3.1
[75] Voir cadre conceptuel, paragraphe 3.1

d'étudier la modélisation aboutissant à la construction des concepts techniques, deux regards seront priorisés :

- Un premier regard concerne les enseignants chercheurs, en tant qu'acteurs de la modélisation effectuée.
- Un deuxième regard s'intéresse à l'instrument du projet Mouv : le simulateur. Celui-ci est porteur des modélisations effectuées en recherche dans le champ de génie mécanique.

Cette approche permet d'identifier à la fois le processus des modélisations effectuées par les enseignants chercheurs et une représentation du résultat de cette modélisation. En effet, ces concepts techniques sont à leur tour modélisés dans la représentation effectuée par le simulateur. L'étude de cette représentation des concepts techniques constitue une partie de l'analyse des processus transpositifs, qui seront abordés par la suite.

4.2 ETUDE DE LA RELATION ENTRE LE CONTEXTE DE LA FORMATION ET LE CONTEXTE PROFESSIONNEL CONCERNANT L'ELABORATION DE CURRICULUM

Dans la réflexion sur la relation entre la formation technologique universitaire et le contexte industriel, nous suivons les concepts techniques dans l'institution visée. L'objectif de cette partie est de problématiser *l'élaboration d'une partie du curriculum à travers ces savoirs en partie peu stabilisés et peu institutionnalisés, nommés concepts techniques*.

4.2.1 PRESENTATION DE LA QUESTION DE RECHERCHE

Dans la partie théorique de la présente recherche, certaines notions concernant l'élaboration de curriculums ont été mobilisées. La sélection de ces notions est fondée par le contexte.

Le contexte de la formation technologique supérieure a été caractérisé selon diverses approches.

Une première approche sociologique, a mis en avant les modèles d'université (Lessard et Tardif) qui coexistent dans le monde et à travers une analyse de la demande d'habilitation du CUFR de Champollion, des éléments appartenant au modèle de l'éducation scientifique ont été identifiés. Cependant, le fait que des caractéristiques concernant les trois modèles d'université peuvent cohabiter dans la même institution empêche une détermination claire du modèle. La caractéristique plus intéressante pour la présente recherche et qui ressort dans la demande d'habilitation est qu'il n'existe pas à priori, de refus d'une formation professionnelle au sein de cette institution. La professionnalisation est ainsi possible.

Une deuxième approche didactique a permis de mettre en relation des éléments disciplinaires et de didactique professionnelle, par l'articulation des différents points communs. Cette approche s'intéresse aux objectifs d'une formation technologique et aux caractéristiques des situations de formation.

Commençons par le modèle d'université et la professionnalisation. Durant le développement théorique, l'importance de la discipline concernée a été relevée. Dans le cas des formations universitaires technologiques, Decomps et Malglaive (1996, p 62) pointent l'importance des savoirs pratiques, opératoires, essentiels pour la professionnalisation des étudiants.

La professionnalisation des étudiants a aussi été évoquée par Cartonnet (2006) qui l'associe à un registre de technicité (Martinand, 1994) de maîtrise (capacité d'intervention autonome). Atteindre ce registre de technicité semble selon Cartonnet (2006) difficile à cause des coûts économiques et intellectuels. Nous avons présenté une autre contrainte temporelle : l'acquisition des compétences est un processus long, difficile à accomplir dans un temps restreint qui est celui de la formation initiale.

Continuons par la relation entre l'université technologique supérieure et le contexte industriel. La problématisation porte ici sur l'élaboration du curriculum. Les questions d'orientation sont élaborées à partir des réflexions menées dans la partie théorique.

Le cadre conceptuel a permis d'établir deux ponts permettant une double approche entre la didactique disciplinaire technologique et la didactique professionnelle.

4.2.1.1 Objectifs d'une formation technologique et approche instrumentale

L'objectif de la formation technologique supérieure est de former à une technicité (Combarnous, 1984). Celle-ci a trois composantes : matérielle, philosophique et sociologique.

Dans la formation à la technicité, la combinaison de ces trois composantes permet à l'individu d'élaborer des schémas. Le cadre conceptuel a ainsi rapproché ce processus à celui opéré dans la genèse instrumentale (Rabardel, 1994-2005). Celui-ci se caractérise par un mouvement selon lequel l'artefact se transforme en instrument. La structure de l'entité instrumentale possède deux composantes : l'artefact et les schèmes d'utilisation.

Cette relation entre la didactique de la technologie et l'approche instrumentale s'avère très intéressante, sans pourtant répondre aux problèmes de coût et aux limites énoncées précédemment. En effet, il semblerait important d'envisager dans la formation un registre de technicité permettant le développement des schémas dans la perspective de Cartonnet (2006) ou de transformer l'artefact en instrument dans la perspective de Rabardel (2005).

La première question d'orientation à propos de l'élaboration de curriculums est donc :

Quel est le registre de technicité visé par la formation ?

Comme point de départ, Cartonnet (2006, p 89) envisage pour la formation technologique supérieure un registre de technicité de participation, afin que les formés puissent ensuite le transformer en registre de technicité de maîtrise. Pour atteindre cet objectif, il propose la participation dans la formation d'un expert du domaine.

4.2.1.2 Registre de technicité et pratique professionnelle associée

La notion de registre de technicité est associée aux objectifs de la formation. Dans le paragraphe précèdent on avance aussi l'idée que, pour une technicité donnée avec un registre quelconque, qu'il soit de l'ordre de la participation, de la maîtrise, de la lecture ou de la transformation ; il y a une pratique de référence associée.

Dans le contexte de la formation universitaire technologique, la pratique sociale de référence permet d'« expliciter la signification de choix » des contenus d'enseignement (Martinand, 2003). Cela renvoie à la question de la pertinence dans le contexte universitaire, qui, comme noté par Rogalski et Samurçay (1994), se négocie par rapport aux pratiques professionnelles.

Nous avons ainsi une première relation entre le registre de technicité, et la pratique sociale choisie comme référence pour la formation. Dans ce sens Martinand (1994) pointe l'existence d'un obstacle dans l'application de la notion de registre de technicité en relation avec l'origine de ce qu'il appelle « îlots d'intelligibilité »[76]. En effet, ces « îlots d'intelligibilité » ne proviennent pas d'une élaboration scientifique. Dans ce sens, nous nous interrogeons sur la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation à travers ces « îlots d'intelligibilité », qui peuvent être des concepts techniques, pragmatiques et / ou des situations.

La deuxième question d'orientation concerne l'élaboration d'une partie du curriculum et les éléments du contexte professionnel mobilisés pour la formation.

Quels sont les éléments (concepts techniques, pragmatiques, classes de situations, etc) du contexte professionnel mobilisés pour la formation ?

Barbier (1996) propose d'étudier la production des savoirs par les pratiques, avec des approches qui privilégient l'analyse des activités réelles. C'est aussi la perspective de la didactique professionnelle. Celle-ci propose la structure conceptuelle de la situation comme

[76] Voir paragraphe 3.2.3 du cadre conceptuel

un outil de représentation de l'action efficace, qui a été avancée comme un élément constitutif d'un projet éducatif.

4.2.2 DELIMITATION DE L'OBJET DE RECHERCHE

La perspective adoptée, afin d'étudier la relation entre le contexte de la formation et le contexte professionnel, est originale. La pratique de deux acteurs dans le contexte professionnel: un chef d'atelier et un opérateur sur machine, va permettre d'étudier les rapports entre l'activité professionnelle et les contenus de formation. Cela répond partiellement à la question de la relation entre contextes dans l'élaboration d'une partie du curriculum. Effectivement, d'une part la détermination du registre de technicité envisagé pour la formation, et d'autre part les éléments du contexte professionnel mobilisés pour la formation, sont analysés à partir du syllabus de la formation concernée, et de la transposition didactique en dehors de la classe.

4.2.2.1 Le contexte universitaire technologique : le syllabus de la formation concernée

Afin de comparer l'offre de contenus d'enseignement avec les concepts mobilisés dans la situation de référence, nous pouvons envisager une comparaison de la situation de travail de référence avec le contenu syllabus. Le syllabus d'une formation donne des objectifs en termes de contenus d'enseignement pour l'année scolaire, dans le cursus universitaire. La situation de travail correspond à une activité, par définition complexe, difficilement saisissable.

Pour analyser ces deux dimensions nous disposons :

- Du côté de la formation, du syllabus : un document écrit, formalisé, à caractère officiel.
- Du côté de la pratique professionnelle de référence, nous disposons d'une situation de travail, de l'ordre de la pratique, souvent implicite et fondée sur l'expérience. Nous proposons la structure conceptuelle de la situation de travail comme outil pertinent pour mener cette analyse comparative. Les raisons de ce choix font l'objet du paragraphe suivant.

La structure conceptuelle de la situation est constituée par l'ensemble des concepts organisateurs permettant d'évaluer la situation et servant à la guider (Pastré, 1999). C'est une construction fondée sur la pratique efficace. Le résultat de cette construction est constitué par les concepts organisateurs, les variables intermédiaires et les indicateurs. La structure conceptuelle permet de passer d'une situation à une représentation formalisée de celle-ci avec certains éléments cognitifs qui la composent. Cependant, la comparaison directe de ces éléments de la structure conceptuelle, qui sont de l'ordre de concepts (pragmatiques, ou

techniques, peu importe), avec les éléments du syllabus qui sont de l'ordre de contenus d'enseignement formalisés, n'est pas immédiate. Il faut donc un nouvel intermédiaire. Celui-ci doit permettre de passer des contenus d'enseignement à une lecture efficace de l'activité réelle, des éléments de la structure conceptuelle. Les enseignants chercheurs en production industrielle:

- Connaissent bien le syllabus, puisque ce sont eux qui l'ont construit.
- Connaissent bien les pratiques sociales de référence, on peut présumer qu'ils ont acquis un niveau de technicité de transformation, puisqu'ils sont capables d'élaborer des concepts techniques, et un niveau de technicité de lecture et de maîtrise parce qu'ils sont chargés des cours.
- Ils ont des rapports réguliers avec le monde industriel ce qui évite le risque de l'autoréférence à la recherche (qui consisterait à créer les concepts et à les enseigner).

L'analyse du syllabus en comparaison avec la pratique sociale (professionnelle) de référence est donc effectuée à travers un intermédiaire (l'enseignant-chercheur) choisi pour son rôle institutionnel dans l'élaboration de curriculum. La question qui se pose maintenant est la suivante : quelle est la pratique sociale de référence ? Nous allons choisir la pratique sociale de référence en fonction des objectifs visés par la formation et le registre de technicité envisagé. La pratique de référence est donc la pratique professionnelle d'un opérateur expert travaillant avec une machine outil à commande numérique. La justification de ce choix a été effectuée d'un point de vue théorique, à partir de l'organisation sociale du travail énoncée par Mayen (2004). Selon cet auteur, on peut différencier ce que les personnes font dans leur travail en fonction du niveau hiérarchique qu'ils occupent, dans ce cas la pratique sociale de référence est celle d'un technicien supérieur, de la structure cognitive de la tâche, qui demanderait des connaissances et compétences partagées entre un opérateur expert et un technicien supérieur chargé de la conception des pièces. Cette approche permet d'étudier une pratique de référence différente à celle visée par la formation.

Celle-ci a aussi été énoncée par Cartonnet (2000) qui dans la même logique réclame une double approche des enseignements technologiques en TP, permettant de justifier une double perspective disciplinaire et professionnelle.

4.2.2.2 La proposition des contenus de formation : la transposition didactique en dehors de la classe

L'étude du curriculum et l'évolution des savoirs dans l'institution de formation, entre dans l'analyse de la relation entre le contexte professionnel et de la formation.
L'étude de la transposition didactique en dehors de la classe constitue ainsi l'étape suivante d'analyse de l'évolution des concepts techniques au sein d'une institution de formation. La structure conceptuelle de la situation est aussi l'outil d'analyse privilégié dans l'approche originale proposée dans la présente recherche.

Les activités proposées aux étudiants dans la formation sont explorées à partir de la structure conceptuelle de la situation en relation avec :

- Le simulateur. Dans la première partie de la problématisation le processus de représentation des concepts techniques élaborés par la recherche appliquée a été énoncé. Mais dans la représentation de ces concepts techniques, les concepteurs du simulateur par le biais de la modélisation, élaborent un savoir à enseigner qui servira de support pour la situation de formation. Pour cela, la modélisation effectuée par le simulateur sera privilégiée dans l'analyse de la transposition didactique en dehors de la classe.
- Le syllabus[77] et le document technique (cahier de TD)[78] donné aux étudiants pendant la formation sur simulateur, élaborés par les enseignants-chercheurs, en fonction de la situation de formation envisagée.

Dans la partie suivante de la problématique, l'intérêt est porté à la transposition didactique dans la classe, ce qui permet d'analyser les savoirs mis en jeu et d'identifier le registre de technicité envisagé par la formation.

4.3 ETUDE DE LA RELATION ENTRE LE CONTEXTE DE LA FORMATION ET LE CONTEXTE PROFESSIONNEL A TRAVERS LE FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DIDACTIQUES

Les concepts techniques élaborés à partir des problématiques industrielles, transposés pour être enseignés, sont introduits dans une séance de formation. La présente partie de la problématique s'intéresse aux savoirs mis en jeu pendant la séance de formation à travers l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur.

4.3.1 PRESENTATION DE LA QUESTION DE RECHERCHE

[77] Disponible dans l'annexe 3 document 6
[78] Disponible dans l'annexe 3 document 7

La troisième partie de la problématique de cette recherche porte sur la « mise en texte du savoir » et la coactivité[79] de l'enseignant avec les étudiants dans la situation de formation. La partie théorique de cette recherche a permis de justifier une double approche entre la didactique professionnelle et disciplinaire.

Nous avons présenté auparavant la relation entre le contexte professionnel et le contexte de la formation, par l'étude de l'élaboration des concepts techniques et de la transposition didactique en dehors de la classe. Celle-ci permet l'analyse de l'organisation de la formation à partir de certaines situations représentatives d'un métier (Pastré, 2004, p 6).

D'autres raisons justifiant une double approche, didactique professionnelle et disciplinaire, ont été évoquées : dans la formation technologique supérieure les objets d'étude relèvent tantôt de champs de pratiques, tantôt des champs conceptuels (des mathématiques, de la physique). L'apprentissage est centré sur les situations (notamment en situation de Travaux Pratiques ou Dirigés, TP ou TD) et la théorie d'apprentissage intégrant les éléments centraux de Piaget et Vygotski est partagée.

En ce qui concerne l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques, les travaux sur la théorie de la conceptualisation dans l'action, énoncés dans la partie théorique, sont la base de la problématisation. L'apprentissage en tant qu'activité constructive de la conceptualisation, liée à la transmission d'un patrimoine et consistant à reconfigurer les ressources cognitives (Pastré, 2007), est étudiée à travers l'évolution du modèle opératif des étudiants.

4.3.1.1 La transposition didactique dans la classe

Concernant la transposition didactique dans la classe, la question de recherche est la suivante :

Quels sont les éléments (concepts techniques, pragmatiques, classes de situations, etc) du contexte professionnel effectivement mis en œuvre dans la situation de formation ?

Les résultats de la transposition en dehors de la classe serviront donc de point de départ pour étudier la mise en œuvre effective de contenus dans la classe. Un des résultats de l'étude de la transposition didactique en dehors de la classe est l'élaboration d'une analyse de la tâche proposée aux étudiants a priori.

La stratégie mobilisée pour identifier les savoirs effectivement mis en œuvre est la même que lors de l'étude de la transposition didactique en dehors de la classe : les entretiens avec les enseignants sont effectués juste après la séance de formation, et le guide d'entretien est

[79] La coactivité fait référence au fait que dans une situation d'enseignement il y a forcement deux acteurs : l'enseignant et l'apprenant, (Pastré, 2005)

élaboré à partir des éléments de la structure conceptuelle de la situation de mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN.

En plus des explicitations des enseignants, nous disposons de synopsis (Schneuwly, 2007) permettant l'identification des savoirs « enjeu » de la situation. L'identification de ces savoirs est un des objectifs poursuivi par l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur.

4.3.1.2 L'étude des systèmes didactiques avec simulateur

La partie théorique a permis de caractériser le simulateur en tant qu'instrument pour la formation permettant la reproduction partielle (Pastré, 2005) et différente (Leplat, 2006) d'une situation professionnelle. Quant à la situation de formation avec simulateur, Samurçay (2005) a mis en lumière un double processus de médiation. Le premier, la transposition, a déjà fait l'objet de discussion dans cette problématique. Le deuxième, la gestion de situations, est au cœur de cette partie de la problématique, à travers l'étude du fonctionnement du système didactique. Nous nous intéressons aux modalités d'interactions professeur-étudiant, étudiant-objet de savoir et étudiant-étudiant (cas des étudiants travaillant en groupe).

La spécificité de ce système didactique est l'utilisation d'un instrument de médiation entre l'étudiant et l'objet de savoir : le simulateur.

Pour étudier l'interaction étudiant-objet de savoir dans l'apprentissage, nous essaierons de caractériser l'évolution du modèle opératif des étudiants. Le modèle opératif, rappelons-le, est la « représentation qu'un sujet se fait de la situation dans laquelle il est engagé pour la transformer » (Pastré et autres, 2006). Nous nous situons dans le cas des situations d'apprentissage, dont le but est de construire un minimum de savoirs-faire (Pastré parle de compétences), permettant de couvrir un ensemble de situations. Pastré (2005) indique qu'il existe une transformation profonde du modèle opératif au cours de l'apprentissage et il parle de genèse conceptuelle pour se référer à l'idée d'une évolution au niveau de l'abstraction.

La problématisation de ce processus est dans cette recherche *l'analyse de l'évolution des modèles opératifs des étudiants en formation avec simulateur*.

Comprendre l'évolution des modèles opératifs dans une approche didactique permet d'approfondir l'explication du fonctionnement des systèmes didactiques dans des situations de formation d'ordre pratique, avec simulateur.

Cette question semble très compliquée à aborder, quelques questions peuvent être posées :

Comment accéder aux représentations qu'à chaque instant, se font les étudiants de la situation ? D'autre part, comment « lire » au cours de l'activité un processus qui est évolutif ?

Comment dissocier le modèle opératif du modèle cognitif, dans le cas des acteurs qui ont déjà construit un modèle cognitif ?
La délimitation de l'objet de recherche permettra de mieux délimiter cet aspect de la problématique et de proposer des questions abordables dans le cadre de cette recherche.

4.3.2 DELIMITATION DE L'OBJET DE RECHERCHE

L'étude des systèmes didactiques peut être réalisée selon de multiples points de vue. Nous allons limiter ici l'objet de la recherche à deux situations de formation, et à deux études de cas principalement.

4.3.2.1 La transposition didactique dans la classe

Dans l'étude de la transposition didactique dans la classe, nous allons partir des éléments identifiés par l'analyse de la tâche proposée aux étudiants : notions et concepts techniques, afin d'identifier les modalités de mise en œuvre de ces notions.
Nous partons d'un constat développé depuis diverses didactiques ; le savoir est co-construit dans la situation de formation, et il existe une régulation entre l'enseignant et l'étudiant dans la mise en œuvre des contenus de formation. L'hypothèse est donc l'existence d'une variabilité dans le registre de technicité (en tant qu'objectif de formation) en fonction des savoirs effectivement mis en jeu. Pour exploiter cette hypothèse, nous allons étudier deux situations de formation : dans la première situation les étudiants ont un parcours déterminé, qui leur a permis de développer un modèle opératif vis-à-vis les machines outils ; ils peuvent être considérés comme « le groupe des expérimentés». Dans la deuxième situation de formation, les étudiants ont un parcours, qui leur a permis de développer un modèle cognitif vis-à-vis des concepts mécaniques, dans ce groupe, les étudiants sont néophytes en relation à l'utilisation des machines outils à commande numérique ; c'est « le groupe des apprentis». L'opportunité de cette recherche est donc l'analyse de la mise en œuvre des mêmes concepts par le même enseignant, face à deux groupes d'étudiants très différents. Nous formulons donc l'hypothèse suivante :

Le registre de technicité varie en fonction des différents profils des étudiants

Cette partie de la problématique clôture ainsi l'étude de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation. Dans la partie suivante, l'intérêt est porté au fonctionnement d'un système didactique. Le cadre conceptuel mobilise la théorie de la conceptualisation dans l'action qui permettra d'étudier les relations entre objet des savoirs,

étudiants et enseignants dans l'activité de mise en fonctionnement et de réglage d'une MOCN en situation de formation avec simulateur informatique.

4.3.2.2 Etude du fonctionnement d'un système didactique avec simulateur

Nous avons relevé l'importance de connaître l'évolution des modèles opératifs des étudiants mais aussi les difficultés pour les atteindre. La présente recherche se limite à une situation concrète : la mise en fonctionnement et le réglage d'une machine outil à commande numérique, avec un simulateur.

L'analyse de l'évolution du modèle opératif est restreinte. Nous disposons des traces des gestes des acteurs en situation d'utilisation du simulateur, ainsi que des échanges verbaux entre les étudiants et l'enseignant et entre les étudiants.

L'analyse de ces traces permet de dessiner les différents parcours dans leurs activités respectives, et les échanges verbaux, permettent d'identifier les situations dans lesquelles ils ont rencontré des obstacles.

Afin d'enrichir cette analyse, nous avons deux groupes d'étudiants.

Le premier groupe est formé par des étudiants titulaires d'un BTS, avec un parcours de formation qui leur a permis d'effectuer un stage ouvrier. Ces étudiants ont travaillé en autonomie (seuls) avec le simulateur. Nous pouvons poser une première question d'orientation :

Quelle est l'évolution du modèle opératif des étudiants ?
- ***Quels sont les obstacles rencontrés, de quelle nature ?***
- ***Quel est le transfert de leur activité ?***

L'étude de l'évolution du modèle opératif s'appuie sur quelques traces de l'activité des étudiants sur les simulateurs et sur les échanges verbaux étudiant-enseignant principalement, nous nous intéressons aux principaux obstacles déclarés et à leur nature.

En effet, une des hypothèses dans l'évolution du modèle opératif est qu'il se produit un « élargissement de l'ensemble des classes de situations que le modèle permet de traiter » (Pastré, 2005, p 78). Nous allons observer ce transfert sur une autre situation de la même classe. Dans le cas des étudiants expérimentés, il s'agit de passer d'une mise en fonctionnement et réglage sur le simulateur en mode fraise vers le simulateur en mode tour.

Le deuxième groupe est formé par des sujets titulaires d'un bac scientifique, de plus ils n'ont jamais vu de MOCN. Leur premier contact est la situation de formation avec simulateur. Ces étudiants ont travaillé en binôme sur le simulateur.

Les questions sur l'évolution des modèles opératifs en relation avec les obstacles, leur nature et le transfert de leur activité, énoncées précédemment, sont toujours d'actualité. Dans le cas du groupe d'apprentis, le transfert est étudié par le passage d'un simulateur de MOCN vers une MOCN dans l'atelier.

Nous pouvons ajouter une dernière question de recherche :

Quelles sont les différences entre le groupe d'étudiants expérimentés et le groupe d'étudiants apprentis ?

Dans la partie théorique l'opposition expert-novice sert de base pour théoriser le processus d'apprentissage par les situations. L'analyse du travail des deux groupes d'étudiants permet ainsi de s'interroger sur quelles sont les différentes modalités d'utilisation possibles des simulateurs en situation de formation technologique initiale ?

Résumé du chapitre 4 : problématique générale de recherche

L'étude de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation supérieure technologique est réalisée dans une perspective didactique.
Ainsi, cette relation est analysée à travers le processus de transposition didactique. D'abord, en prenant appui sur les modalités d'élaboration des concepts techniques dans le champ du génie mécanique, deux questions d'orientation et une hypothèse sont avancées :

- Quelles sont les modalités d'élaboration des concepts relatifs à la technique ?

- La théorisation des savoirs pragmatiques par le biais de la recherche appliquée permet-elle la production des concepts techniques ?

Dans la théorisation des savoirs pragmatiques, un processus de modélisation permet aux concepts techniques résultats de préserver leur visée pragmatique tout en élargissant leur domaine de validité

Dans la poursuite de la chaîne transpositive et de l'étude de la relation, la problématique générale de recherche s'intéresse ensuite à l'élaboration du curriculum de la formation. Il s'agit d'analyser la transposition didactique en dehors de la classe, à travers la mobilisation de plusieurs ressources : la structure conceptuelle de la situation, le syllabus de la formation, le simulateur et les acteurs de la noosphère. Cela tente de répondre à la question d'orientation suivante :

- Quels sont les éléments (concepts techniques, pragmatiques, classes de situations, etc) du contexte professionnel mobilisés pour la formation ?

L'étape suivante consiste à analyser la transposition didactique dans la classe, et permet de clôturer l'étude de la relation entre les deux contextes, par le biais de l'analyse de la chaîne transpositive. La question d'orientation s'intéresse cette fois aux savoirs effectivement mis en jeu :

- Quels sont les éléments (concepts techniques, pragmatiques, classes de situations, etc) du contexte professionnel effectivement mis en œuvre dans la situation de formation ?

Concernant la situation de formation, l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur est envisagée sous la double perspective didactique disciplinaire et didactique professionnelle. La première, permet de poser une question d'orientation relative au projet de formation réellement envisagé par la co-activité enseignant-classe (groupe d'étudiants) :

- Le registre de technicité varie en fonction des différents profils des étudiants

Quant à la théorie de la conceptualisation dans l'action, elle permet d'analyser à la fois l'évolution des modèles opératifs des étudiants et le rôle du simulateur, à travers les questions suivantes :
- Quelle est l'évolution du modèle opératif des étudiants ?
- Quels sont les obstacles rencontrés, de quelle nature ?
- Quel est le transfert de leur activité ?

Ces questions sont étudiées dans deux groupes différents : les expérimentés et les apprentis. La comparaison entre les deux constitue la dernière question de la problématique de cette recherche :
- Quelles sont les différences entre le groupe d'étudiants expérimentés et le groupe d'étudiants apprentis ?

Le caractère imbriqué des questions qui orientent la problématique générale de cette recherche organise la partie méthodologique et les résultats.

Chapitre 5 :
Méthodologie générale de recherche

CHAPITRE 5

METHODOLOGIE GENERALE DE LA RECHERCHE

5.1 Présentation de la méthodologie générale de la recherche
5.2 Méthodologie pour l'étude de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation sous une approche didactique
5.3 Méthodologie pour l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur

Ce chapitre est consacré à la présentation de la méthodologie générale de la recherche. Une première partie est consacrée à la présentation du dispositif méthodologique, et à la justification de l'ancrage qualitatif imposé par le contexte. La deuxième partie concerne la méthodologie pour l'étude de la relation *via* le processus de transposition. La troisième partie s'intéresse à la méthodologie proposée pour l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques. Cette présentation étant générale, les dispositifs méthodologiques sont explicités lors du chapitre des résultats.

L'objectif de la méthodologie est de justifier les différents dispositifs choisis pour répondre aux questions de recherche

5.1 PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE GENERALE DE LA RECHERCHE

La méthodologie utilisée dans la présente recherche est qualitative. Ce choix est à la fois la conséquence d'une réflexion théorique et des conditions du contexte de la formation visée.

La méthodologie qualitative constitue une approche souvent employée en sciences humaines et sociales. Reuters (2007, pp 13-26) consacre des réflexions aux enjeux épistémologiques sous-jacents au projet méthodologique de la didactique. Il présente le projet de la didactique comparée comme une articulation entre le clinique et l'expérimental[80], mais cette affirmation ne fait pas l'unanimité dans la communauté des didacticiens. Dans ce sens, la présente recherche s'inspire de la démarche méthodologique énoncée par Reuters (2007) avec ces analyses à priori et à posteriori et en plaçant les enjeux des savoirs de l'activité au centre des analyses. Cependant, des différences notables, dues notamment au projet d'étude de la relation et donc à l'importance du contexte professionnel, sont à noter dans l'approche méthodologique suivie.

Concernant les conditions du contexte, la présente recherche s'inscrit dans le projet Mouv, qui établit une collaboration entre deux laboratoires (DiDiST et LGMT) et une institution de formation, le CUFR de Champollion. Ce fait a déterminé le public concerné par l'étude : au total quatre enseignants et deux classes (d'expérimentés et d'apprentis) composées par trois et quatre étudiants respectivement. Ce public si restreint a influencé la méthodologie qualitative, qui « essaie de comprendre les sujets au départ de leur jeu de référence » (Pourtois et Desmet, 2007 (1988), p 28). En effet, la référence des sujets impliqués a amené souvent à « adapter la méthodologie en fonction de (notre) terrain d'investigation » (Ibid., p 30).
C'est le cas de l'analyse de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation. Le fort rôle institutionnel de l'enseignant P1 et ses rapports avec le monde industriel nous ont amené à élargir l'étude à d'autres enseignants (P2 et P3) afin de mieux saisir cette relation entre le contexte professionnel et celui de la formation.

La méthodologie à caractère qualitatif, est utilisée en didactique: disciplinaire, et professionnelle. Cette dernière emprunte à l'ergonomie de langue française. Cela permet d'entrevoir la diversité des sources qui ont inspiré l'approche méthodologique de la présente recherche. En conséquence, ce chapitre constitue une brève présentation des diverses méthodes et leur articulation, qui seront ensuite explicitées dans les chapitres de résultats.

[80] Ces deux approches sont souvent présentées comme opposées (voir Pourtois et Desmet, 2007 (1988), p 28-30)

D'abord, la méthodologie de l'étude de la relation concerne dans cette approche didactique, une analyse de la chaîne transpositive complète. On analyse l'élaboration de deux savoirs, et leur transposition (en dehors de la classe et dans la classe).
Ensuite, la méthodologie s'intéresse à l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques et adopte une approche didactique.

5.2 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA RELATION ENTRE LE CONTEXTE PROFESSIONNEL ET CELUI DE LA FORMATION

Le dispositif méthodologique de l'étude de la relation suit le processus d'imbrication proposé lors de la problématique générale de la recherche.

La perspective didactique adoptée pour l'analyse de la relation entre les contextes professionnel et de la formation s'intéresse aux enjeux des savoirs dans les situations proposées en formation technologique supérieure. Nous avons limité notre étude à deux situations pratiques: la mise en fonctionnement et réglage d'une machine outil à commande numérique (MOCN) et le processus de dilatation de la broche lors de la phase d'usinage d'une pièce.

La première situation, la mise en fonctionnement et le réglage d'une MOCN, constitue l'objectif principal de la séance de formation avec simulateur. Nous allons étudier cette situation en contexte professionnel, afin d'effectuer une analyse épistémologique de la tâche relativement aux enjeux des savoirs sous-jacents.

La deuxième situation, la dilatation de la broche, a été modélisée dans le simulateur. Elle est utilisée pour illustrer aux étudiants un processus qui provoque des défauts dans l'usinage des pièces. Nous allons étudier cette situation en contexte professionnel d'une part et à partir des résultats de recherche dans un laboratoire technologique d'autre part, pour effectuer une analyse épistémologique de la modélisation construite à partir d'une problématique issue du contexte professionnel.
L'étude de la relation entre les deux contextes, est donc focalisée sur ces deux situations, par une analyse du processus transpositif que l'on peut décrire par différents moments méthodologiques :

- l'analyse des deux situations : la mise en fonctionnement et le réglage d'une MOCN correspond au contexte professionnel,

- la modélisation de la dilatation de la broche correspond au contexte professionnel et de la recherche,
- la transposition didactique en dehors de la classe et l'élaboration du curriculum des enjeux de savoirs relatifs à ces deux situations,
- la transposition didactique dans la classe des enjeux de savoirs relatifs à ces deux situations.

Ces moments sont explicités par la suite.

5.2.1 L'ANALYSE DU TRAVAIL : ETUDE DE DEUX SITUATIONS EN CONTEXTE PROFESSIONNEL

La méthodologie d'analyse des deux situations énoncées est empruntée à la didactique professionnelle. L'objectif étant d'élaborer la structure conceptuelle de la situation d'usinage des pièces, nous avons étudié le contexte professionnel selon trois moments : l'analyse globale, l'analyse de l'activité et la vérification et l'approfondissement de l'étude de l'activité.

Tableau 3 : méthodologie pour l'analyse du travail

Question de recherche	L'analyse de l'activité en contexte professionnel d'un opérateur expert en deux situations : de mise en fonctionnement et le réglage d'une machine, et de dilatation de la broche.
Objectif	Elaboration de la Structure Conceptuelle de la Situation
Méthodologie de recueil de données	**1° moment :** entretien avec un Chef d'Atelier (disponible sur Annexe 1 entretien 5), l'entretien a été élaboré à partir des référentiels professionnels et de formation (disponibles sur Annexe 3 documents 1, 2 et 3). L'objectif est de comprendre l'activité dans un atelier d'usinage. **2° moment :** entretien avec un Opérateur Usineur (disponible sur Annexe 1 entretien 6) et vidéo de son activité (disponible sur Annexe 2, synopsis 1 jusqu'à 10). L'entretien est élaboré à partir des données de l'entretien précèdent avec le chef d'atelier. L'objectif est de comprendre l'activité d'un opérateur expert. **3° moment :** entretien avec le même Opérateur Usineur (disponible sur Annexe 1 entretien 7). L'entretien est élaboré à partir des données de l'entretien précedent avec cet opérateur. L'objectif est d'élaborer la structure conceptuelle de la situation d'usinage des pièces avec MOCN.
Lieu de recueil de données	Contexte professionnel, pour le Chef d'Atelier, l'entreprise est spécialisée dans la fabrication des pièces unitaires et pour l'opérateur, l'entreprise est spécialisée dans la fabrication en série de pièces.
Type de données	Audio et vidéo. Les données ont été transformées en transcriptions (pour les données audio) et synopsis (pour les vidéos).
Traitement des données	Pour l'élaboration de la structure conceptuelle de la situation, en fonction des catégories établies (concepts organisateurs, classes des situations, etc) les extraits des discours sont distribués. La situation de mise en fonctionnement et de réglage et la situation de dilatation de la broche sont aussi étudiées par des vidéos et par entretiens directifs.
Exploitation des résultats pour la suite	La structure conceptuelle de la situation est utilisée comme référence pour l'étude de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation, par le biais de l'analyse de la transposition didactique (en dehors de la classe et dans la classe) L'analyse de deux situations, permet d'identifier les enjeux des savoirs de la tâche proposée aux étudiants (analyse à priori de la didactique) pour l'analyse de processus transpositifs et l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques. L'identification des difficultés des opérateurs novices permet d'avancer dans l'identification des obstacles épistémologiques et didactiques dans le projet de

caractérisation des modèles opératifs des étudiants.

Concernant la mise en fonctionnement et le réglage d'une MOCN, l'étude de l'activité d'un opérateur expert permet de déterminer les enjeux des savoirs ainsi que les difficultés présentées par des opérateurs novices.

Concernant la dilatation de la broche, l'analyse du travail permet de déterminer s'il est un concept d'origine pragmatique, et donc d'exploiter l'hypothèse d'une modélisation à partir d'une problématique née en contexte professionnel.

5.2.2 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA MODELISATION DES CONCEPTS RELATIFS A LA TECHNIQUE

Le processus de dilatation de la broche constitue la cible pour l'étude de la modélisation des concepts relatifs à la technique.

Lors de la problématique deux hypothèses ont été posées:

- La première hypothèse induit l'existence d'un mouvement de théorisation des concepts pragmatiques par le biais de la recherche appliquée (qui permettait l'élaboration des concepts techniques).
- La deuxième hypothèse concerne la visée pragmatique et l'élargissement du domaine de validité de ces concepts techniques.

Trois mots clés sont au cœur de ces deux hypothèses : l'origine de ces concepts, la théorisation par modélisation et le résultat de cette modélisation : les concepts techniques.

Le tableau permet de rendre compte du processus envisagé :

Tableau 4 : méthodologie pour l'analyse épistémologique d'évolution d'un concept

Question de recherche	Un concept pragmatique est modélisé ce qui élargit son champ de validité tout en conservant son caractère pragmatique. Le résultat de cette modélisation est un concept technique.
Objectif	Etude de l'élaboration d'une modélisation sur la dilatation de la broche, problématique issue du contexte professionnel.
Méthodologie de recueil de données	ANNEXE 1, entretiens concernant le contexte professionnel de fabrication industrielle : entretiens 5, 6 et 7 ANNEXE 1, entretien 4 : entretien avec le chercheur qui a élaboré cette modélisation ANNEXE 3 document 5 : Analyse de processus et résultats de recherche
Lieu de recueil de données	Contexte professionnel pour l'opérateur. Contexte de la recherche pour le chercheur.
Type de données	Audio. Les données ont été transformées en transcriptions.
Traitement des données	Identification des concepts pragmatiques sur la situation de dilatation de la broche, analyse de l'activité d'un opérateur d'usinage avec MOCN. Identification et compréhension de la modélisation effectuée : Analyse épistémologique d'un concept technique à partir des productions scientifiques.
Exploitation des	Ce résultat permet d'éclairer la relation entre le contexte professionnel et de la

résultats pour la suite	formation à travers l'élaboration des concepts techniques, qui sont à l'origine des problématiques nées du contexte industriel. Ce résultat contribue à l'étude des processus de transposition, concernant l'élaboration des savoirs et sa modélisation *via* un simulateur informatique.

Nous avons voulu mettre en relief sur le tableau 4 un des résultats partiels de cette partie. En effet, l'analyse épistémologique du concept technique résultant constitue la base pour l'étude du processus de transposition qui va être mis en place par le biais de la simulation informatique. Cette étude est abordée dans le paragraphe suivant.

5.2.3 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE L'ELABORATION D'UNE PARTIE DU CURRICULUM ET DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE EN DEHORS DE LA CLASSE

Dans la continuité de l'étude de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation technologique supérieure, la problématique a permis de poser deux questions de recherche concernant l'élaboration d'une partie du curriculum. La première est relative au registre de technicité visé par la formation, la deuxième concerne les éléments (concepts techniques, pragmatiques, situations, etc) du contexte professionnel mobilisés pour la formation.

Afin d'éclairer ces questions, la problématique a permis d'avancer une partie de la méthodologie. Concernant la situation de mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN, l'élaboration de la structure conceptuelle de la situation a été privilégiée comme outil pour analyser les éléments du contexte professionnel mobilisés en formation.

Un obstacle a été relevé : la comparaison des éléments ayant des dimensions différentes. Comment comparer la structure conceptuelle de la situation avec le syllabus qui concerne les contenus visés par la formation ?

Afin de dépasser cet obstacle, des entretiens avec des enseignants chercheurs ont été menés. Le tableau 5 permet de rendre compte de ce processus :

Tableau 5 : méthodologie pour l'étude de l'élaboration d'une partie du curriculum

Question de recherche	Eléments du contexte professionnel mobilisés pour la formation Registre de technicité visée par la formation
Objectif	Etude de l'élaboration d'une partie du curriculum dans un contexte universitaire technologique.
Méthodologie de recueil de données	syllabus (ANNEXE 3 document 6) et *analyse des entretiens* avec les enseignants–chercheurs (ANNEXE 1, entretiens 3 et 4)
Lieu de recueil de données	Contexte de la formation pour les enseignants-chercheurs et l'institution de formation visée.
Type de données	Texte, des extraits du syllabus ont été analysés. Audio. Les données ont été transformées en transcriptions.

Traitement des données	Analyse d'une partie de curriculum Confrontation des éléments du syllabus (contenus de formation) avec les éléments de la SCS à travers des entretiens avec les enseignants chercheurs
Exploitation des résultats pour la suite	Ce résultat permet d'éclairer la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation à travers l'élaboration d'une partie du curriculum de la formation. Il met en évidence le rôle des acteurs de la noosphère dans cette relation. Dans ce sens, ce résultat permet d'identifier les éléments du contexte professionnel qui sont envisagés par la formation. Ce résultat permet de déterminer le registre de technicité envisagé par la formation

La dernière partie de la problématique concernant l'élaboration du curriculum est relative au processus de transposition des savoirs en jeu.

La transposition didactique en dehors de la classe est étudiée différemment selon les deux contenus visés ; le concept technique associé au processus de dilatation de la broche et la mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN. Concept technique et situation professionnelle relèvent en effet de dimensions différentes :

- Dans le cas du concept technique, une analyse épistémologique du concept constitue le point de départ ; la représentation de ce concept par le biais du simulateur complète l'étude de la transposition didactique externe.
- Dans le cas de la situation, une analyse épistémologique de la tâche par rapport aux enjeux des savoirs sous-jacents est la base ; la représentation de cette tâche avec le simulateur permet l'étude de la transposition didactique externe.

En ce qui concerne la méthodologie associée pour effectuer les analyses épistémologiques du concept et de la tâche, le tableau suivant permet d'illustrer les différentes méthodologies proposées :

Tableau 6 : méthodologie pour l'étude de la transposition didactique en dehors de la classe

Question de recherche	L'analyse de la transposition didactique en dehors de la classe concerne les deux situations antérieurement citées : la mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN et la dilatation de la broche.
Objectif	Etudier la transposition didactique en dehors de la classe de deux situations : l'une, originaire du contexte professionnel, et l'autre qui correspond à l'élaboration scientifique d'un concept technique.
Méthodologie de recueil de données	Pour la situation de mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN : cahier de TD (ANNEXE 3 document 7), manuel de l'opérateur (ANNEXE 3 document 4), l'entretien avec l'opérateur concernant les notions relatives à la tâche (ANNEXE 1, entretien 7) et le simulateur. Pour la situation de dilatation de la broche l'entretien avec le chercheur qui a élaboré cette modélisation, (ANNEXE 1, entretien 3).
Lieu de recueil de données	Contexte de la formation
Type de données	Texte : le cahier de TD élaboré par l'enseignant-chercheur P1 et le manuel de machine NUM Transcription des entretiens, Le simulateur, en tant qu'instrument de médiation entre l'apprenant et l'objet de savoir.
Traitement des données	Pour la situation de mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN : Influence du simulateur dans la modélisation de la tâche, analyse épistémologique de la tâche et

	des enjeux de savoir sous-jacent. Pour la modélisation relative à la dilatation de la broche : Influence du simulateur dans la modélisation du concept technique.
Exploitation des résultats pour la suite	Les résultats de cette partie contribuent à l'étude de la relation entre contextes et servent de base pour l'étude de la transposition didactique dans la classe.

5.2.4 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE DANS LA CLASSE

Pour clôturer cette partie d'étude de la relation entre le contexte professionnel et de la formation, inspirée de l'analyse des processus transpositifs, nous analysons les savoirs effectivement mis en jeu dans la situation de formation. La méthodologie ressemble à celle utilisée lors de l'étude de la transposition didactique en dehors de la classe (disponible dans le tableau 6) : deux entretiens ont été construits à partir des éléments de la structure conceptuelle de la situation. Le passage des entretiens a eu lieu après la séance de formation avec simulateur et avec MOCN, et ce avec deux enseignants différents : P1 et P3.

Tableau 7 : méthodologie pour l'étude de la transposition didactique dans la classe

Question de recherche	L'analyse de la transposition didactique dans la classe concerne tous les éléments du contexte professionnel, mobilisés (ou non) en formation.
Objectif	Etudier la transposition didactique dans la classe de deux situations : l'une, originaire du contexte professionnel, et l'autre qui correspond à l'élaboration scientifique d'un concept technique.
Méthodologie de recueil de données	syllabus (ANNEXE 3 document 6) et entretiens post-séance avec les enseignants (ANNEXE 1, entretiens 10 et 11), ces entretiens ont été conçus à partir des éléments de la structure conceptuelle de la situation
Lieu de recueil de données	Contexte de la formation
Type de données	Texte : le syllabus Transcription des entretiens.
Traitement des données	Dans une analyse catégorielle de contenus, les éléments de la structure conceptuelle de la situation sont mis en relation avec les discours des enseignants sur les savoirs effectivement mis en jeu.
Exploitation des résultats pour la suite	Les résultats de cette partie clôturent l'étude de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation, permettant aussi d'identifier en partie les éléments du contexte professionnel mobilisés pour la formation.

5.3 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DU FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DIDACTIQUES

Cette partie est consacrée à l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur, dans une perspective de didactique professionnelle. L'approche méthodologique privilégiée consiste à étudier le système didactique en termes de co-activité entre l'enseignant et la classe. L'étude de la co-activité met l'accent dans un premier moment sur l'activité de l'enseignant et dans un deuxième moment, sur l'activité des étudiants.

5.3.1 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-CLASSE : DU CÔTE DE L'ENSEIGNANT

Le dispositif méthodologique pour l'analyse de l'activité de l'enseignant suit une approche didactique : entretien ante séance, observation avec enregistrement vidéo et audio, entretien post séance et entretien de réflexion sur les séances. Deux situations de formation avec simulateur ont été ciblées. Une situation concerne des étudiants expérimentés, ayant une expérience avec les MOCN. Dans l'autre situation, les étudiants sont néophytes dans l'utilisation des MOCN.

Tableau 8 : méthodologie pour l'analyse de l'activité de l'enseignant

Question de recherche	L'analyse de l'activité de l'enseignant et le registre de technicité effectivement mis en jeu en fonction du profil des étudiants (co-activité).
Objectif	Contribuer à l'analyse de l'activité de l'enseignant dans le cas des formations à l'aide de simulateurs et étudier la variabilité du registre de technicité.
Méthodologie de recueil de données	Inspirée des méthodes en didactique de disciplines et en didactique professionnelle.
Lieu de recueil de données	Contexte de la formation.
Type de données	Co-activité avec le groupe d'expérimentés. ANNEXE 2, observation de la séance 2007, synopsis 11-15. Co-activité avec le groupe des apprentis. ANNEXE 2, observation de la séance 2008, synopsis 15-19.
Traitement des données	*Analyse de l'activité de P1 premier niveau* : les différentes stratégies dans les différents moments. *Analyse de l'activité de P1 deuxième niveau* : les stratégies langagières.
Exploitation des résultats pour la suite	L'analyse de l'activité de l'enseignant s'inscrit dans une perspective d'étude de la co-activité, elle est complétée par l'analyse de l'activité des étudiants.

5.3.2 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-CLASSE : DU CÔTE DES APPRENANTS

Concernant l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques, les questions sont relatives à l'évolution du modèle opératif des étudiants, à travers l'interaction des étudiants avec la situation de formation et avec l'enseignant et les autres étudiants. L'analyse se limite aux obstacles rencontrés, à leur nature, et au transfert de l'activité à d'autres situations de la même classe. L'analyse se centre sur cinq études de cas. Dans le groupe d'expérimentés, nous avons trois étudiants qui travaillent seuls face aux simulateurs. Dans le groupe des apprentis, nous avons deux groupes (un binôme et un trinôme) qui travaillent avec les simulateurs.

Le tableau suivant permet d'illustrer la méthodologie mobilisée dans cette partie :

Tableau 9 : méthodologie pour l'analyse de l'activité des étudiants

Question de recherche	Analyser les modèles opératifs des étudiants
Objectif	Les difficultés pour déterminer les modèles opératifs des étudiants ont été relevées et une stratégie consistant à identifier les obstacles et le transfert de leur activité est proposée.

Méthodologie de recueil de données	Inspirée des méthodes en didactique de disciplines et en didactique professionnelle Analyse des traces et des échanges verbaux enseignant- étudiants
Lieu de recueil de données	Contexte de la formation.
Type de données	Dans le groupe d'expérimentés, le transfert est du simulateur en mode fraisage vers le simulateur en mode tour. ANNEXE 4, supports 2 et 3 Dans le groupe d'apprentis, le transfert est du simulateur vers la MOCN ANNEXE 4, supports 3 et 4
Traitement des données	Analyse intra –groupe (entre les étudiants du même groupe) et analyse inter –groupe (le groupe d'expérimentés et le groupe d'apprentis)
Exploitation des résultats pour la suite	A travers l'identification du type d'obstacles et le transfert de l'activité, nous avançons vers la représentation des modèles opératifs des étudiants.

Résumé du chapitre 5 : méthodologie générale de la recherche

A partir d'une réflexion théorique et des conditions imposées par le contexte une méthodologie de type qualitatif est privilégiée. Deux moments de la méthodologie sont distingués. Le premier concerne l'étude de la relation entre le contexte professionnel et de la recherche. La méthodologie est « fabriquée à la carte » à partir des différentes articulations théoriques et de la problématique de recherche présentées. Le deuxième moment concerne l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques. La méthodologie est inspirée des approches didactiques, et notamment de la didactique professionnelle, par l'étude de la co-activité de l'enseignant avec les étudiants. La méthodologie sera traitée avec plus de profondeur, dans les chapitres des résultats suivants, présentés selon cette même logique.

Deuxième Partie : Résultats de la recherche

Chapitre 6:
Résultats de l'analyse du travail

CHAPITRE 6

RESULTATS DE L'ANALYSE DU TRAVAIL

6.1 Le choix des situations pour l'analyse du travail
6.2 Méthodologie et recueil de données
6.3 Elaboration de la structure conceptuelle de la situation d'usinage avec des MOCN
6.4 Etude de la situation de mise en fonctionnement et de réglage d'une MOCN
6.5 Analyse des difficultés des opérateurs novices

La première partie de ce chapitre a pour but d'éclairer les choix des situations et l'approche théorique et méthodologique adoptée. Dans la deuxième partie la méthodologie est développée. L'analyse des résultats est ensuite proposée en trois moments : d'abord relativement à l'élaboration de la structure conceptuelle de la situation d'usinage, ensuite à la situation de mise en fonctionnement et de réglage d'une MOCN et enfin aux difficultés chez les opérateurs novices.

L'objectif de l'analyse du travail est d'élaborer la structure conceptuelle de la situation d'usinage avec MOCN et d'étudier la situation de mise en fonctionnement et de réglage.

Les résultats de ce chapitre portent sur l'analyse du travail. L'objet est l'activité d'un opérateur sur machine outil à commande numérique (MOCN). L'analyse du travail a été explicitée lors de l'état des lieux de la présente recherche, s'il n'a pas été abordé lors du cadre conceptuel c'est parce que cette étude emprunte directement les réflexions proposées par la didactique professionnelle. L'analyse de l'activité constitue une approche originale pour débuter dans l'étude des processus transpositifs visés par cette recherche. Il s'agit d'analyser dans le contexte professionnel deux phases qui constituent les objectifs principaux dans la formation :

- l'activité de mise en fonctionnement et le réglage d'une MOCN
- la situation de dysfonctionnement dans l'usinage des pièces : le phénomène de dilatation de la broche.

6.1 LE CHOIX DES SITUATIONS POUR L'ANALYSE DU TRAVAIL

Le contexte professionnel ciblé relève du domaine de la fabrication mécanique avec des Machines Outils à Commande Numérique (MOCN). Ces machines ont remplacé progressivement les machines outils conventionnelles dans l'industrie, bouleversant les méthodes de production mais pouvant conduire à une perte sur la maîtrise de l'usinage, due à l'automatisation des procédés (Landon, 2003). L'influence de cette substitution sur la formation des techniciens supérieurs dans le domaine industriel concerné est importante. Désormais, les enseignements technologiques relatifs aux processus d'enlèvement de matière s'effectuent aussi avec des MOCN.

6.1.1 JUSTIFICATION DE CHOIX DES SITUATIONS DE TRAVAIL ETUDIEES

L'activité du travail est par nature d'une extrême complexité, et les classes de situations[81] associées sont dès lors nombreuses.

L'objectif principal du cours avec simulateur de MOCN est la mise en fonctionnement et le réglage d'une MOCN. Cette situation de mise en œuvre et réglage est donc une des deux activités ciblées par la présente analyse du travail. Elle constitue un passage obligatoire dans toute activité relative aux MOCN, dans la mise en fonctionnement et réglage de la machine. Il

[81] Le terme situation est utilisée par Vergnaud (1991, p 150) pour rendre compte du caractère varié des situations faisant partie d'un champ conceptuel et pour noter l'importance du couplage sujet-situation lors de l'apprentissage. Vergnaud distingue les classes des situations en fonction des schèmes développés par un sujet pour faire face. L'idée est qu'un schème permet d'agir face à une classe de situations. « Un ensemble de situations (donne) du sens au concept, la référence » (Ibid., p 145)

s'agit de situer l'origine programme de la pièce par rapport aux origines machines. C'est donc depuis la phase de conception que cet aspect doit être pris en compte.

L'autre, abordée dans la situation de formation avec simulateur correspond à la prise en compte des défauts d'usinage conséquence du phénomène de dilatation de la broche. Cette situation est liée à des phénomènes thermiques et mécaniques. La maîtrise de ces phénomènes relevait, au moins dans le cas des machines conventionnelles, du savoir faire de l'opérateur chargé de l'usinage. La perte de savoir faire liée à l'automatisation du processus a eu un impact sur la prise en compte de ce type de phénomènes, qui désormais impliquent toutes les phases de la production.

La substitution des machines outils conventionnelles par des MOCN a entraîné une perte de certains savoir-faire, et une des conséquences est que « tout se joue » dans la préparation de l'usinage, notamment pendant la programmation (Landon, 2003). Le passage d'une situation de travail avec machine conventionnelle à une machine automatisée (MOCN) a fait aussi l'objet des travaux en ergonomie. Nous avons cité un ouvrage[82] (Samurçay & Rabardel, 2005, pp 166-167). Dans cet ouvrage, les auteurs signalent que « les opérateurs réinvestissent les compétences issues de la conduite de la machine-outil manuelle » (Ibid., p 167) et vont progressivement développer de nouvelles compétences sur la machine à commande numérique.

6.1.2 ANCRAGE THEORIQUE DE L'ANALYSE DU TRAVAIL

Lors de l'état des lieux de cette recherche, l'importance de l'analyse du travail dans une perspective de didactique professionnelle a été explicitée. Le but de l'analyse du travail dans la présente recherche est de servir de support à l'étude de la dialectique entre le contexte professionnel et le contexte de la formation, dans le cas d'une formation universitaire technologique. Les rapports que ces deux contextes entretiennent ont fait l'objet de nombreuses articulations théoriques et l'approche par la didactique professionnelle a été revendiquée dans la présente recherche. Les raisons ont été évoquées, par exemple le caractère professionnel de la formation ciblée et le type du simulateur (de résolution de problèmes) qui sert de support à la formation.

L'ancrage théorique de l'analyse du travail développé par la didactique professionnelle permet d'expliciter deux objectifs (Caens-Marty et autres, 2004) : la formalisation des

[82] Voir état des lieux, paragraphe 2.3.3.1

connaissances relatives au domaine professionnel visé et la modélisation d'un point de vue didactique. Ces objectifs s'organisent en trois étapes : étude de la tâche, étude de l'activité et analyse des écarts entre situation de référence professionnelle et situation de formation. Il s'agit ici, d'analyser pour les comprendre, les deux situations professionnelles évoquées.
Le paragraphe suivant, permet d'expliciter davantage les choix méthodologiques de cette partie des résultats ainsi que le type de données recueillies.

6.1.3 ANCRAGE METHODOLOGIQUE DE L'ANALYSE DU TRAVAIL

D'un point de vue méthodologique, la didactique professionnelle essaie de dépasser l'approche traditionnellement utilisée consistant à débuter les analyses de l'activité par une analyse de la tâche. La présente recherche effectue les analyses en partant de l'analyse de la tâche, certes, mais l'analyse s'effectue en prenant en compte l'expérience des acteurs et la singularité des actions afin d'éviter une trop forte référence à la tâche prescrite. De plus, deux acteurs sont interrogés –un chef d'atelier et un opérateur expert- sur l'activité d'un d'entre eux –l'opérateur expert-, ce qui permet un élargissement du regard posé sur l'activité.
D'abord, l'analyse du travail proposée dans la présente recherche est orientée par la formation, à travers le choix des situations à étudier, constitutives des objectifs de la formation. Dans ce sens, il s'agit du triplet « activité-analyse du travail-formation » (Leplat, 2006) et la méthode envisage une décontextualisation-recontextualisation des résultats des analyses de travail. Cette méthode permettra d'accéder au processus de transposition didactique qui sera étudié à partir des situations professionnelles.
Ensuite, l'analyse du travail menée porte sur l'élaboration de la structure conceptuelle de la situation de mise en fonctionnement et réglage d'une machine outil à commande numérique. Pour identifier la structure conceptuelle de cette situation, Pastré et autres (2006, p 160) proposent de chercher « les éléments invariants qu'on trouve mobilisés chez tous les sujets ayant une action efficace » et Pastré (2005) propose d'élaborer la structure conceptuelle de la situation à partir de ces trois composantes :

> « Les concepts organisateurs de l'activité, dimensions extraits du réel qui permettent le diagnostic de la situation.
> Les indicateurs, des observables, qui permettent de donner une valeur dans un instant aux concepts organisateurs
> Les classes des situations, qui permettent d'orienter l'action en fonction du diagnostic effectué et qui découlent des valeurs prises par les concepts organisateurs »

La méthodologie visée tente d'accéder à ces trois composantes de l'activité d'un opérateur expert. Cela constitue l'objet du paragraphe suivant.

6.2 METHODOLOGIE ET RECUEIL DE DONNEES

Lors de l'état des lieux, quelques exemples d'analyses du travail ont permis de décrire des éléments méthodologiques basés sur l'explicitation des acteurs en situation de travail : des entretiens, des vidéos, d'autoconfrontation ont été proposés. D'un point de vue théorique, le risque de prendre la tâche comme référence dans l'analyse de l'activité a été mentionnée. La méthodologie proposée par cette recherche pour élaborer la structure conceptuelle de la situation se déroule en trois étapes: l'analyse globale du contexte de travail, l'analyse de l'activité d'un opérateur expert et la vérification de la structure conceptuelle de la situation.

6.2.1 L'ANALYSE GLOBALE DU CONTEXTE DE TRAVAIL

Ce moment se caractérise par la connaissance du domaine d'activité. Il est important car il permet d'identifier les rôles des acteurs de niveaux de qualification différents dans l'organisation sociale du travail. Cela permet de les dépasser pour atteindre l'organisation cognitive de l'activité[83]. Un extrait de l'entretien avec le chef d'atelier permet d'éclairer ce propos :

> ETCA22CA : « Aujourd'hui toutes les personnes qui font de la programmation ont fait de l'usinage. On a essayé à l'époque, de sous-traiter de la programmation avec des gens qui n'ont jamais fait d'usinage, et on a eu beaucoup de soucis au niveau méthodologie et au niveau coupe, c'est-à-dire que les gens avaient du mal à définir eux même les vitesses de coupe et du mal à définir quel outil était le mieux adapté pour tel type d'opération, parce que ces gars ne sont pas passés par l'usinage ».

Cet acteur a été choisi pour ses connaissances sur l'organisation du travail et pour son parcours professionnel. Il s'agit d'un chef d'atelier d'une entreprise de fabrication de maquettes pour l'avionique. Son parcours professionnel lui a permis d'atteindre son poste actuel de chef d'atelier grâce à la formation sur différents postes : au début de sa carrière, il était ajusteur, ensuite opérateur sur machine, puis programmateur et enfin, il a pris la direction de l'atelier. Dans son poste actuel, il assure la communication entre les acteurs aux différentes étapes de la fabrication : conception, programmation et usinage. Il est responsable de la gestion des ressources matérielles et temporelles dans l'atelier. Son objectif est de garantir la qualité des pièces, dans un temps et avec un coût minimal.

L'entretien a été conduit en quatre étapes :

- Dans la première on s'intéresse au profil professionnel du chef d'atelier, à son parcours professionnel.

[83] Cet aspect a été abordé dans le cadre conceptuel, en référence à Mayen (2004) qui propose d'étudier l'organisation cognitive de l'activité telle qu'elle apparaît et non pas en fonction de l'organisation sociale du travail.

- Dans la deuxième, c'est le processus de fabrication de pièces : les différentes étapes, acteurs, ressources mobilisés, qui est questionnée.
- La troisième a été construite à partir d'un référentiel diplôme du brevet de technicien supérieur (BTS)[84]. Le choix de ce référentiel de diplôme pour saisir les tâches prescrites est justifié par l'origine d'une partie des étudiants de la formation concernée. En effet, le « groupe des expérimentés » est constitué par les étudiants titulaires d'un BTS. En outre, nous avons comparée les questions relatives aux tâches prescrites décrites dans le référentiel avec deux autres référentiels de diplôme correspondant à un BEP et à un BacPro.
- La quatrième concerne la gestion des situations difficiles : les situations de dysfonctionnement et les difficultés des opérateurs novices.

Le passage de cet entretien a eu lieu en juillet 2006, dans le centre de travail du chef d'atelier, et a duré environ deux heures et demie[85].

L'analyse de cet entretien est basée sur une première catégorisation de contenus, permettant de comprendre l'activité d'un opérateur sur machine outil à commande numérique dans l'ensemble de l'activité de l'entreprise. Ainsi, nous essayons d'identifier dans un premier temps les caractéristiques principales de son activité, les buts, les moyens, les compétences requises, les ressources, les contraintes. Un autre élément important de cette analyse est de permettre d'identifier les interactions des différents acteurs au sein de l'entreprise. Dans la discussion des résultats, les différents extraits d'entretien sont associés aux différents éléments de l'activité : la situation de mise en fonctionnement et réglage, les situations de dysfonctionnement et les difficultés des opérateurs novices.

6.2.2 L'ANALYSE DE L'ACTIVITE D'UN OPERATEUR EXPERT

L'analyse de l'entretien avec le chef d'atelier a deux objectifs : situer l'activité de l'opérateur dans l'ensemble du processus de fabrication industrielle, et décrire de manière globale l'activité de l'opérateur. Il s'agit maintenant d'approfondir l'analyse de l'activité d'un opérateur expert afin d'élaborer la structure conceptuelle de la situation de mise en fonctionnement et de réglage d'une MOCN, et d'explorer la situation de dilatation de la broche. La méthodologie mise en œuvre est traditionnelle en ergonomie. Elle consiste d'abord à effectuer un premier entretien portant sur les aspects liés au travail de l'opérateur. Ensuite, un film du geste de l'opérateur pendant le réglage d'une MOCN avec les commentaires de son

[84] Disponible dans l'annexe 3, le document 3
[85] La transcription intégrale de cet entretien est disponible dans l'annexe 1, entretien 5

action a permis d'approfondir dans la compréhension du geste professionnel. Enfin, un deuxième entretien sur quelques aspects relatifs au réglage de la machine a été effectué.

Le premier entretien repose sur trois types de questions :

- Le parcours de l'opérateur.
- L'expérience professionnelle de l'opérateur, l'organisation du travail : temps, moyens, acteurs, les tâches délicates, difficiles, pénibles.
- Les difficultés des opérateurs novices et les situations de dysfonctionnement.

Le deuxième entretien, après le visionnage du film sur l'activité de mise en fonctionnement et de réglage d'une MOCN, porte sur les différentes façons d'effectuer la même activité, sur les décisions à prendre et sur les conditions d'efficacité.

Le but de l'étude de l'activité à ce moment est l'élaboration d'une première esquisse de la structure conceptuelle de la situation de mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN[86]. L'analyse des deux entretiens et de la vidéo a pour objectif de chercher les concepts organisateurs de l'action, les indicateurs et les différentes classes des situations.

6.2.3 VERIFICATION ET APPROFONDISSEMENT DE LA STRUCTURE CONCEPTUELLE DE LA SITUATION

Cet entretien a eu lieu dans son centre de travail en mars 2008 et dure environ une heure. L'objectif étant de vérifier la structure conceptuelle de la situation. Les questions sont posées sur les savoirs et les notions sous-jacentes à la tâche (norme de sens des axes) et sur les différentes classes de situations, notamment les situations de dysfonctionnement dans lesquelles le réglage d'une machine doit être effectuée à nouveau.

Ces trois moments de la méthodologie permettent de construire les résultats autour des deux situations ciblées, qui sont l'objet des paragraphes suivants.

6.3 ELABORATION DE LA STRUCTURE CONCEPTUELLE DE L'ACTIVITE DE L'OPERATEUR

Nous allons présenter les résultats de l'ensemble des moments de la méthodologie, à travers l'analyse des discours sur la base de catégories établies. Ces catégories, cherchent à regrouper les extraits de discours autour des deux thèmes :

[86] Les transcriptions complètes des entretiens sont disponibles dans l'annexe 1, entretien 6 et annexe 2 synopsis 1 à 10

- la situation de mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN et les différentes classes de situations,
- les difficultés des novices

6.3.1 ETUDE DE LA SITUATION DE MISE EN FONCTIONNEMENT ET REGLAGE D'UNE MOCN

L'objectif est d'établir les éléments de la structure conceptuelle de la situation, rappelons-le :

> « le noyau conceptuel qu'il faut prendre en compte pour que l'action soit pertinente et efficace, […] c'est une représentation fonctionnelle et schématique qui se constitue et qui vise à une évaluation d'ensemble en focalisant sur les dimensions centrales » (Pastré, 2004, p 23).

L'activité d'un opérateur sur machine outil à commande numérique s'organise en deux moments. Un premier moment avant l'usinage, dans lequel l'opérateur reçoit la gamme, prépare les matériels nécessaires : outils, matières, et organise son activité en fonction de deux concepts organisateurs :

1. La qualité requise de la pièce finie
2. Le positionnement initial de la pièce

Ces deux concepts organisent l'activité de l'opérateur qui va ensuite initialiser la machine, régler les outils et introduire le programme.

Le deuxième moment de l'activité se déroule après l'usinage de la pièce. L'activité de l'opérateur consiste à évaluer la qualité obtenue dans la pièce, permettant de fonder un diagnostic sur la situation : la pièce est-elle usinée dans la tolérance?

Premier concept organisateur : la qualité requise de la pièce

La qualité de la pièce finie, constitue l'objectif principal de la phase d'usinage d'une pièce. Qu'il s'agisse d'une pièce unitaire ou d'une série de pièces, la qualité finale de la pièce permet de qualifier l'efficacité de l'action. Si la pièce est dans la tolérance requise, alors l'usinage est réussi, si la pièce est en dehors de la tolérance, une étude de la pièce va être menée afin de déterminer si la pièce peut être retravaillée par finition ou si la pièce doit être refaite.

La précision dans l'usinage est d'abord énoncée par le chef d'atelier comme un but (ETCA-61) : « d'usiner la pièce de la façon la plus précise, dans la précision demandée et avec la rapidité la plus importante ».

Pour atteindre cette précision demandée, l'opérateur peut être amené à faire des contrôles (ETCA-48) : « un contrôle classique, avec un palpeur qu'il y a sur la machine : on va usiner une forme et on veut savoir si cette forme est correcte, on va venir avec le palpeur mesurer des points sur cette forme, et voir par rapport au théorique, ça c'est l'opérateur qui va le faire ».

La particularité de ce concept organisateur, est qu'il s'agit à la fois de l'objectif principal de l'activité et d'un élément organisateur. La qualité de la pièce finie est en effet directement liée à l'efficacité et à la productivité, puisqu'une pièce hors tolérance a un impact sur la productivité en termes de coût et de temps.
Quelques extraits des entretiens permettent de montrer comment la qualité requise organise l'action de l'opérateur.

D'une part, c'est un concept imposé par l'organisation sociale du travail (ET2OU-104) : « le but il est là : qu'avant qu'elle passe le contrôle elle soit bonne ». Le niveau de qualité de la pièce est déterminé depuis le bureau de conception, et décrit dans la gamme que l'opérateur doit suivre. L'opérateur contrôle la pièce afin de vérifier qu'elle est dans les tolérances requises, mais un contrôle extérieur est aussi effectué : ET1OU-24 : « Le but il est là, d'essayer avec moins d'outillage de la réaliser, le plus vite possible, bon le plus vite, le but est de faire le plus vite possible et bonne parce qu'on a un contrôleur qui est tatillon. »

D'autre part, la qualité requise de la pièce organise l'activité et est présentée comme difficulté la plus important dans le travail d'un opérateur (ET1OU-50) : « Le plus difficile est de réaliser la pièce à la précision, […] quelle que soit la forme qu'elle ait, ça demande une concentration et savoir les programmes qui vont bien pour faire la précision et en tout, faire de la précision répétitive, en série […]. »
La détermination de la précision permet de fonder un diagnostic, (ET1OU-50) : « Oui, parce que quand on a cinquante pièces à faire on lit la première et justement c'est bon si au bout de la cinquième pièce c'est plus bon c'est que là il y a un problème […] »

Pour éviter la dérive dans la précision, ce concept de « qualité requise » organise l'activité en orientant le choix des conditions d'usinage, (ET1OU-50) : « […] il faut utiliser les bons outils qui vont bien, la bonne coupe, il faut refaire des passes en plus, ça demande un peu du temps, mais ça c'est à force de faire de la série, d'usiner, on sait ce qu'il faut faire et ce qu'il ne faut pas faire. »
Dans le cas d'une situation de dérive dans la cote, l'opérateur est amené à effectuer une régulation dans son activité en fonction du diagnostic fondé grâce aux indicateurs liés à ce concept organisateur (ET1OU-8) : « […] Le problème c'est que si on n'est pas juste, ou la cote n'est pas bonne […], il faut repasser le programme, […] pour rattraper la cote qui nous manque. C'est vite fait, mais enfin bon je préfère //, je fais changer la valeur du rayon et je compense ».

Enfin, l'importance de ce concept organisateur est sa visée pragmatique, qui permet à l'opérateur de fonder un diagnostic de la situation et de l'orienter.

Nous pointons avec Vidal-Gomel et Rogalski (2007) que les opérateurs peuvent « raisonner avec un double niveau d'inférences et que chacun mobilise des concepts de variables, paramètres et indicateurs » (Ibid., p 53)

Dans le cas de la conduite des MOCN, on identifie deux paramètres, en tant que variables mesurables ou calculables (Caens-Marty, 2005). Le premier est relatif à la lecture de la tolérance requise dans le plan de la pièce, lors du moment initial avant l'usinage. Le deuxième est la mesure de la pièce usinée, dans le moment juste après l'usinage.

On identifie aussi deux indicateurs,

> « En tant qu'observables, naturels ou instrumentés, qui permettent d'identifier la valeur que prennent les concepts organisateurs. L'équivalent d'une relation signifiant-signifié relie les indicateurs aux concepts » (Vidal-Gomel & Rogalski, 2007, p 53).

Le premier indicateur est l'état de la surface de la pièce usinée. Quand un opérateur a fini d'usiner une pièce, l'état final de la surface de la pièce est un indicateur de la qualité finale : il peut y avoir des bavures, ou des facettes. Ces indicateurs permettent de fonder un diagnostic de la situation. Voyons deux exemples :

> (ET1OU34) : « […] parce que l'outil fait toujours de la bavure, l'outil quand on taille c'est comme un couteau, quand on taille bien ça va, quand ça taille plus, il faut forcer, l'outil c'est pareil donc il force la matière et il fait de la bavure, donc quand on commence à avoir beaucoup de bavure on change. »

L'état de la surface permet de fonder un diagnostic : l'outil est usé s'il y a de la bavure, et d'orienter les actions pertinentes, comme le changement de l'outil.

> (ET2OU64) : « Quand l'outil vibre, l'état de surface n'est pas joli, ça fait des facettes »

L'indicateur est aussi ici l'état de la surface de la pièce finie fait des facettes. La cause du dysfonctionnement est que l'outil est en train de vibrer. Les actions de l'opérateur doivent permettre de corriger ce dysfonctionnement en régulant la vitesse de rotation.

Dans le cas de l'activité d'un opérateur sur machine outil on identifie un autre paramètre, constitué par l'ensemble des conditions de coupe (vitesse de rotation, avance, etc) qui sont liées à la qualité de la pièce. Le choix des outils et des conditions de coupe est aussi déterminé pendant la phase de programmation de la pièce et dépend de la qualité requise. L'activité de l'opérateur consiste à prendre ces valeurs comme des références, et d'effectuer une régulation en fonction des indicateurs fournis par la situation. Pour illustrer cela, imaginons l'opérateur qui reçoit une gamme avec les outils à employer et les valeurs des avances, des vitesses, etc. Il met en œuvre l'usinage de la pièce et en fonction des indicateurs modifie les valeurs de ces paramètres. Deux indicateurs ont pu être identifiés : la surface de la pièce usinée –déjà cité- et le bruit. L'interaction des paramètres tels que la longueur d'outil, la vitesse de coupe et

l'avance permet de retrouver un équilibre. Il faut signaler, que comme dans le cas de la mesure de la qualité, ces paramètres sont d'abord calculés par l'opérateur de manière analytique. Prenons l'exemple du calcul de la vitesse de rotation :

> ET2OU-72 : « c'est plus la vitesse de rotation […] suivant l'outil qu'on utilise, on calcule la vitesse de rotation, il y a une formule. Alors la formule c'est : le diamètre de l'outil, multiplié par 3,14 et divisé par la vitesse de coupe. »

La valeur calculée constitue une approximation. Elle est régulée ensuite en fonction des indicateurs repérés dans la situation par l'opérateur.

> ET2OU-80 : « Oui, mais ça peut être autre chose : ça peut être un outil qui est trop long. Après la vitesse de coupe c'est une phase qu'on a et après on bouge plus ou moins la rotation pour voir… Parce que suivant la fraise qu'on utilise […] La fraise longue a tendance à vibrer et la vitesse de coupe il faut la réduire, alors la réduire jusqu'à ce qu'on adapte la vitesse de coupe à l'avance aussi parce que tout est lié. […] ça fait qu'on essaie de trouver l'équilibre.

Nous avons établi les relations entre le concept organisateur de la qualité requise de la pièce, les paramètres qui interviennent, et les indicateurs permettant à l'opérateur de fonder un diagnostic de la situation. La partie qui suit, cherche à caractériser le deuxième concept organisateur : le positionnement initial de la pièce.

Deuxième concept organisateur : le positionnement initial de la pièce

Le positionnement initial de la pièce est défini dans la phase de programmation de la pièce. Il doit permettre des gains d'un point de vue économique, de geste, du temps et en termes de qualité. C'est un problème qui ne concerne pas en principe l'opérateur sur MOCN. Cependant, dans des situations d'usinage de pièces complexes, les compétences des opérateurs experts peuvent s'avérer essentielles. Ainsi, le discours du chef d'atelier laisse entendre que l'opérateur :

> ETCA-24 : « doit […] prévoir comment faire la pièce pour éventuellement intervenir s'il y a un problème. Donc, il y a des connaissances un peu du produit fini que l'opérateur doit avoir. Et puis […] il doit connaître très bien la programmation CN. »

Comme dans le cas de la qualité requise de la pièce, premier concept organisateur énoncé, le positionnement initial de la pièce est un concept organisateur de l'activité de l'opérateur, dont la valeur est déterminée avant l'usinage par le programmateur. A la différence de la qualité de la pièce, qui dépend de trois paramètres et de plusieurs indicateurs, ce concept organisateur n'intervient dans l'activité de l'opérateur que dans le cas d'un dysfonctionnement. Une classe de situation énoncée par le chef d'atelier permet d'illustrer ce point :

> ETCA-45: « […] si l'opérateur est embêté parce qu'il a un outil ou un porte outil qui le gêne pour passer dans une opération, on va voir, pour passer avec un outil plus gros, est ce qu'il accepte un rayon plus gros donc on va voir, demander ça. »

Les compétences de l'opérateur sur le positionnement de la pièce permettent ainsi d'établir un dialogue entre le programmateur et l'opérateur d'usinage afin d'améliorer la fabrication des pièces. Ce dialogue ne s'arrête pas là. Il s'avère indispensable pour les programmateurs d'être passé par l'usinage des pièces, pour comprendre les difficultés et programmer en fonction de celles-ci (voir les extraits ETCA-22, ET2OU-52 et ET2OU-98). Le premier positionnement de la pièce est étroitement lié à cette compréhension des difficultés des opérateurs.

La contextualisation de ce concept organisateur permet d'entrevoir son importance. L'opérateur interviewé, travaille dans la fabrication en série de pièces simples (boîtiers pour l'électronique). Cela lui confère l'autonomie de préparer, de programmer et d'usiner les plans de pièces reçus du bureau des méthodes. Le positionnement initial de la pièce constitue donc un concept qui organise son activité.

Avant de commencer l'usinage, l'objectif de l'opérateur est de positionner la pièce de manière à pouvoir la finir dans les meilleures conditions : temps minimal, nombre d'opérations réduit, qualité optimale. Pour cela il faut envisager toutes les opérations jusqu'à la fin de la phase d'usinage (ET1OU20): «Dans l'usinage la difficulté est de savoir comment réaliser la pièce, comment commencer […] il faut bien étudier au départ, comment on va réaliser toutes les opérations qu'on va réaliser sur la pièce, et ça, on n'attaque pas la pièce sans savoir comment on va la réaliser, comment on va la finir […] ». Pour cela, la stratégie mobilisée doit permettre de toujours pouvoir serrer la pièce : à travers un talon, un morceau de matière, etc. Cette capacité à établir une stratégie, dépend de l'expérience (ET2OU48) : « Alors ça c'est à force d'usiner, on sait à peu près par où il faut commencer, par où il faut finir […]. Et ça c'est à force de faire, c'est la personne qui le programme qui le voit ça. »

Nous avons identifié deux paramètres permettant d'évaluer la stratégie menée : la visibilité de la pièce et le nombre de détournements (changements de position) de la pièce. La visibilité de la pièce peut garantir sa faisabilité. Si dans une position déterminée la broche « voit » une surface, il est probable qu'elle puisse l'usiner, par contre si la broche « ne voit pas » la surface, c'est certain qu'elle ne pourrait pas l'atteindre.
Dans le positionnement d'une pièce, le deuxième paramètre est le nombre de détournements qui doit être minimum :

> ET1OU4 : « Et après on usine, […] (et) une fois que le programme est fini, on enlève une pièce on en remet une autre et on recommence, et quand la pièce est serrée ou quand elle est positionnée j'essaie de faire le maximum de cotations possibles sans démonter, pour aller plus vite »

Ce paramètre lié au concept organisateur, permet à l'opérateur d'expliciter la règle d'action qui consisterait à prioriser un changement d'outil à un détournement de la pièce, pour une question de coût :

> ET2OU94 : « Ça fait que quand je fais une face […] je fais le maximum d'opérations sans bouger la pièce. Parce que le but, c'est quand on fait une pièce dans laquelle il y a beaucoup d'usinage, sans bouger la pièce il faut faire le maximum d'opérations sur une face. […] Parce que le changement d'outil est vite fait, plus vite que de changer la pièce. Oui, parce qu'il faut ouvrir, desserrer le tout, soit si c'est bridé, oui parce que maintenant avec les machines, un changement d'outil ça veut dire quoi, deux secondes ! […] C'est là qu'on gagne plus de temps ».

Nous avons identifié un indicateur fourni par la situation, consistant à ne plus pouvoir tenir la pièce : ET1OU20 : « […] parce qu'il ne faut pas commencer une pièce n'importe comment, parce que quand on arrive à la fin de la réalisation de la pièce, souvent on est coincé parce qu'on sait plus comment la tenir […] »
Une situation de dysfonctionnement identifiée consisterait à effectuer un plan de pièce dont les positionnements successifs ne tiennent pas compte de la forme de la pièce. Cela provoquerait des déformations qui affectent la qualité de la pièce finie. Voici un exemple qui permet de relier les deux concepts organisateurs de l'action, (ET2OU-46) : « c'est fini là ! Si elle déforme, la pièce elle est plus bonne. […] Donc il faut toujours bouger selon la forme de la pièce il y a une façon de faire, bon là c'est suivant la forme de la pièce, aussi [..] »
Enfin, concernant aussi le positionnement de la pièce, on peut trouver des exemples où la variable prise en compte est la matière utilisée. Dans le cas de l'aluminium, il faut prendre en compte le sens des fibres pour l'usinage de la pièce (voir ETCA-77 et ET2OU-56).

L'analyse des discours des acteurs de l'entreprise, permet donc de déterminer les éléments organisateurs de l'activité d'un opérateur sur MOCN. La figure suivante permet d'illustrer le résultat global de cette analyse :

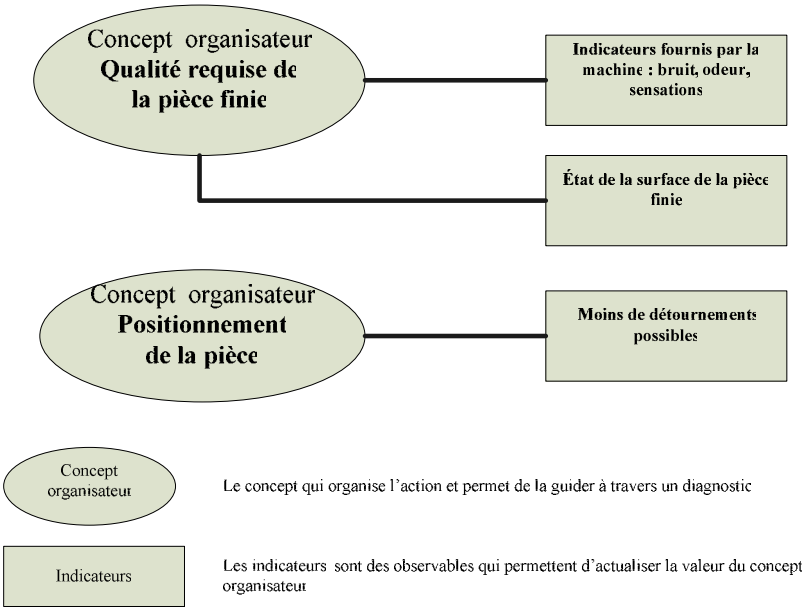

Concept organisateur
Qualité requise de la pièce finie
Indicateurs fournis par la machine : bruit, odeur, sensations
État de la surface de la pièce finie
Concept organisateur
Positionnement de la pièce
Moins de détournements possibles
Concept organisateur
Le concept qui organise l'action et permet de la guider à travers un diagnostic
Indicateurs
Les indicateurs sont des observables qui permettent d'actualiser la valeur du concept organisateur

Figure 8 : structure conceptuelle de la situation de mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN

6.4 ETUDE DE LA SITUATION DE MISE EN FONCTIONNEMENT ET REGLAGE D'UNE MACHINE OUTIL A COMMANDE NUMERIQUE

La mise en fonctionnement et le réglage d'une machine outil à commande numérique est une activité caractérisée par une séquence d'actions déterminées. Dans ce paragraphe, il s'agit d'abord de décrire la séquence d'actions, de les caractériser et ensuite, d'analyser le lien entre le réglage et les concepts organisateurs de l'activité globale d'un opérateur de MOCN.

Description de la séquence d'actions de mise en fonctionnement et de réglage d'une MOCN

Dans la présente recherche, le réglage de la machine consiste à situer le repère de l'utilisateur par rapport au repère de la machine. Cette situation a été présentée, lors du deuxième moment de la méthodologie énoncée précédemment. Un premier entretien permet d'abord d'expliciter certains aspects du réglage. Ensuite, l'opérateur est filmé en train d'effectuer un réglage de la machine, afin de visualiser son geste professionnel, qu'il accompagne de certaines explicitations. Enfin, un deuxième entretien permet d'approfondir certains aspects de l'activité de l'opérateur.

Pendant le premier entretien et concernant le réglage de la machine, l'opérateur la décrit comme étant nécessaire à faire au début, afin de situer la pièce par rapport aux origines machines. Pour illustrer cet aspect, il donne une définition des origines machine et de l'origine pièce. (ET1OU-4) : « Les origines machine c'est les dimensions de la machine, le maximum en X, Y et Z, et l'origine pièce c'est le positionnement de la pièce par rapport aux origines machine. C'est la distance, si vous voulez, quand on fait une pièce il faut faire les origines machine, pour que la machine sache exactement où se situe la pièce par rapport à ces origines à elle. Et en fonction de ça après, elle vient usiner à l'origine qu'on lui a dit. Et après on usine, […] ».

Le réglage doit s'effectuer à chaque fois que (le modèle) la pièce change, l'opérateur insiste cependant sur le fait que les origines ne changent pas forcement quand la pièce change. Il ajoute (ET1OU-6) : « mais le programme c'est plus le même, les outils des fois c'est plus les mêmes donc il faut faire les longueurs d'outils ».

L'analyse du réglage de la machine est approfondie grâce à la vidéo accompagnée des explicitations. Ainsi, nous avons divisé l'étude du geste associé au réglage en quatre étapes. Ces étapes correspondent au discours que l'opérateur a associé à son activité. Notre intervention s'est limitée à l'enregistrement vidéo de l'opérateur[87].

[87] L'ensemble de la transcription du discours de l'opérateur est disponible dans l'annexe 2 synopsis 1 à 10.

La première étape consiste à positionner la pièce dans l'étau :

Cette première étape se décompose en trois actions, qui sont représentées dans la séquence suivante (figure 9)

Figure 9 : Mise en position du « brut » de la pièce

Ces trois actions ont des objectifs très précis :

1. Nettoyer le brut et le porte-pièce (dans la première image de la séquence, en commençant par la gauche) afin d'éviter que des résidus du dernier usinage affectent la surface de la pièce à usiner.
2. Introduire le brut entre les cales (axe Y, dans la deuxième image) et la positionner aussi dans l'axe X, par la butée (troisième image). L'objectif est que toutes les pièces de la même série soient dans la même position.
3. Serrer la pièce, afin d'éviter qu'elle bouge pendant l'usinage (quatrième image de la séquence).

Nous pouvons identifier le concept organisateur de ces actions. La pièce et le porte-pièces doivent être propres, la pièce toujours dans la même position et ne pas bouger pour essayer de maintenir une certaine qualité lors de l'usinage d'une série. Le concept organisateur est la qualité requise de la pièce finie.

La deuxième étape consiste à positionner le palpeur :

Cette deuxième étape peut être considérée comme la préparation au calcul des origines. L'opérateur introduit un outil dans la broche, qu'il fait tourner à une basse vitesse (800 tours/min) afin d'éviter qu'il se casse. Il utilise la machine en mode manuel, à l'aide d'un volant ou avec les boutons, permettant de déplacer la machine dans les trois axes.

La figure 10 montre l'outil (palpeur) et l'introduction de la vitesse de rotation de cet outil dans la commande CN.

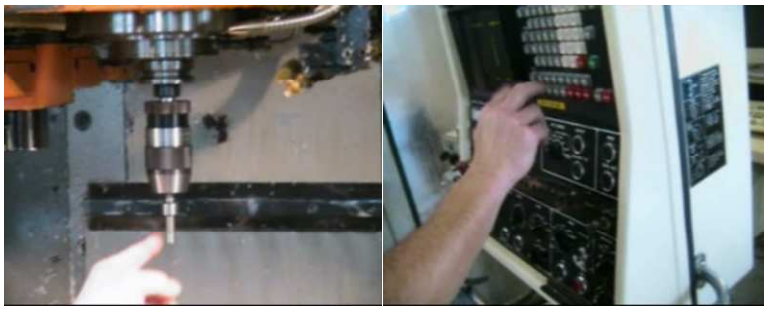


Figure 10 : Montage de l'outil dans la broche

La troisième étape : détermination du PREF en X, en Y et en Z

Lors de l'enregistrement vidéo, la machine était sous tension au moment de notre arrivée. Les « origines machine » étaient déjà effectuées. C'est la raison pour laquelle cette troisième partie débute avec le calcul de prise de référence (PREF) et non par la prise d'origine machine (POM).

Une séquence d'images (Figure 11) permet de visualiser le processus de calcul de PREF.

La procédure mise en œuvre par l'opérateur se déroule en deux étapes :

- L'opérateur doit atteindre le point de contact dans les trois axes, ce point de contact est nommé l'origine pièce.

Pour cela, il faut tangenter une surface de la pièce, correspondant au plan qui contient le point visé, à l'aide d'un palpeur. Cette manœuvre requiert une habileté certaine au niveau des contrôles manuels de la machine (FOU-16) : « Il faut que la pige, la pige va tourner rond, là, elle bouge presque plus, et à un moment donné, voilà là juste maintenant, elle va se décaler tout d'un coup, elle va faire tac, et dès qu'elle fait ça c'est que je suis bon, c'est que je suis pile au centre ». Cet extrait correspond aux explications de l'opérateur dans ce moment là. Nous rappelons que l'introduction des MOCN a provoqué une perte des savoir-faire des opérateurs en relation avec les sensations transmises par la machine outil conventionnelle. Ce fragment permet cependant de rendre compte d'une certaine communication « tactile » entre la MOCN et l'opérateur expert.

- L'opérateur doit déterminer le PREF dans les trois axes.

Pour cela, il prend l'ancienne origine comme référence (comme si c'était le POM). Ensuite, il calcule la distance entre les deux points en prenant en compte les sens positifs et négatifs des déplacements et la valeur du rayon de la tige. Enfin, il introduit dans le calculateur CN cette valeur par le clavier.

Ce même principe est appliqué pour les trois axes : X, Y et Z. Dans le cas de l'axe Z, le palpeur est changé par un outil de précision car c'est l'axe de la broche, dans laquelle sont montés tous les outils de coupe.

Dans cette étape, on identifie le rôle des concepts organisateurs de l'activité. D'une part, la qualité de la pièce requise demande de la précision dans la prise de la référence, dans l'utilisation du palpeur ou d'un outil. D'autre part, le choix de l'origine pièce est défini par la programmation (voir par exemple ET2OU20), en fonction de la forme de la pièce et donc de son positionnement initial. Un extrait du discours préalable de l'opérateur permet d'illustrer ce lien, (ET1OU-77) : « Ah oui, oui c'est en fonction de la pièce suivant les origines, suivant comment je vais la mettre, ah oui, ça c'est moi, c'est jamais pareil. En tangentant, chaque fois que la pièce je sais que je veux la faire là, […] ».

PREF en X choix de l'origine pièce point de contact capture d'écran avec le point de contact capture d'écran avec l'ancien origine calcul de la différence entre les deux origines et introduction de la nouvelle valeur

PREF en Y point de contact approximation au point de contact capture d'écran avec le point de contact qui coïncide avec l'ancienne origine donc pas besoin d'effectuer de calculs

PREF en Z changement d'outil et point de contact capture d 'écran avec le point de contact qui coïncide aussi avec l'ancienne origine

Figure 11 : Calcul du PREF

La quatrième étape calcul de la longueur des outils :

C'est la dernière étape de préparation à l'usinage. On considère que le réglage de la machine a été effectué : le POM et le PREF peuvent être réalisés. L'opérateur introduit dans le calculateur CN les valeurs de longueur d'outil et de diamètre d'outil :

> (ET1OU-8) : « La longueur d'outil c'est la longueur de l'outil par rapport à […] la broche, c'est le but de l'outil et si l'outil mesure 100 mm, la machine en tient compte, il faut aller sur et dire, l'outil 1 il fait 100 mm. Ça fait que la machine quand elle descend dans la cote en z, tient compte de ces 100 mm, autrement l'outil rentrerait dans la pièce. […] Et après il y a le rayon d'outil, […]. »

Figure 12 : Introduction de la longueur d'outil

Dans la séquence des images sélectionnées, cinq opérations caractéristiques sont mises en oeuvre:

- introduction de l'outil de mesure,
- nettoyage de la surface de contact (avec la main d'abord et ensuite avec une soufflette),
- approche de l'outil à la surface en mode manuel,
- introduction de la valeur de la longueur d'outil
- introduction du rayon d'outil.

Toutes ces opérations sont réalisées avec beaucoup de précision. Deux situations différentes peuvent alors se produire :

1. Si l'enlèvement de matière n'exige pas beaucoup de précision, on introduit dans le calculateur CN la valeur du rayon de l'outil directement
2. Si l'enlèvement de matière exige de précision, la valeur du rayon introduite laisse une marge permettant d'effectuer l'enlèvement de matière en deux phases, avec un temps de finition,

> (FOU-40) : « je mets le rayon à l'outillage, […] j'ai 4, mais j'ai mis 4,1 pour laisser un dixième d'épaisseur à la pièce, parce que si j'avais mis 4,0 elle va à la cote la pièce. J'ai mis 4,1 comme ça elle se décale d'un dixième et elle me laisse un dixième, pour pouvoir faire la finition après avec une autre; après l'outil 2 fait c'est une fraise de 4, une fraise de 4 ce qui correspond au rayon de 22, j'ai mis 2 de rayon là elle me passe à la cote, elle me fait le finition »

Dans les quatre étapes de mise en fonctionnement et de réglage d'une MOCN, le concept organisateur de l'activité « qualité requise de la pièce » est présent. Il guide l'activité de l'opérateur et oriente ses stratégies.

6.5 ANALYSE DES DIFFICULTES DES OPERATEURS NOVICES

Dans la problématique de cette recherche, l'opposition expert-novice a été identifiée comme une direction d'étude des processus d'apprentissage par l'exercice de l'activité. Cette partie est consacrée à l'analyse des difficultés que rencontrent les opérateurs novices. Dans l'analyse des entretiens, nous avons cherché des extraits relevant de trois catégories : l'expérience, l'identification des obstacles et le transfert.

L**'expérience** correspond au deuxième organisateur de l'activité énoncé par Pastré (2005, p 259). Cependant, notre analyse a un objectif plus modeste que celui énoncé par Pastré (2006) en relation avec la compréhension du monde commun, constitué par le milieu social et culturel et intériorisé par chaque sujet. L'objectif ici est de rendre compte de certains éléments de la connaissance des sujets, construits dans la sphère sociale et dans le temps. Nous limiterons l'analyse aux situations dans laquelle l'opérateur explicite l'impact des acquis de son expérience sur l'évolution de son modèle opératif. C'est l'effet pointé par Pastré (2004, p 232) : un individu, dans l'activité (dans ce cas du travail) apprend, et en quelque sorte à son insu, parce que « le sujet se voit contraint par la situation de créer de la ressource nouvelle » (Ibid., p 233), à travers d'une genèse opérative[88].

L'opérateur est fraiseur depuis 30 ans. Il a toujours travaillé pour la même entreprise. Il travaille en autonomie en faisant des séries de boîtiers pour des équipements en électronique. Il est titulaire d'un CMP[89], et insiste dans son discours sur le fait que, selon lui, c'est grâce à la pratique, à l'expérience, qu'on apprend, (ET1OU-70) : « c'est en usinant qu'on apprend, c'est en forgeant qu'un forgeron devient forgeron » ou (ET2OU-48) : « Alors ça c'est à force d'usiner, on sait à peu près par où il faut commencer, par où il faut finir, parce qu'on a l'habitude parce qu'on a moins de problèmes ». Dans deux situations, et en relation avec les difficultés rencontrées dans l'exercice

[88] « Les genèses opératives font partie de la première forme d'organisation de l'activité, structurée autour du triplet schème-instrument-situation. Elles constituent la manifestation d'un épisode de développement par confrontation à une nouvelle classe de situations. » (Pastré, 2005, p 234)
[89] Certificat Maintient Professionnel

professionnel, l'opérateur fait référence à l'expérience, à l'apprentissage par la pratique qui lui ont permis de surmonter des obstacles :

1. La première situation est inspirée par un concept organisateur : le positionnement correct de la pièce, « comment il faut s'y prendre ». Les réponses lors du deuxième entretien font référence à l'expérience.

Dans l'extrait qui suit l'opérateur explicite que « savoir s'y prendre » dépend de l'expérience et de la situation (face aux pièces difficiles), et que c'est la base (organisateur de l'activité) :

> ET1OU-22 : « Un exemple, non parce que je suis toujours arrivé à le faire, […] de toute façon c'est la base, donc, celui qui ne fait pas ça, de commencer une pièce, d'être sûr de pouvoir arriver au bout quoi, et tant qu'on n'est pas sûr, mais on connaissait pas. […]. Ah oui, ce n'est pas évident, surtout des pièces complexes. Et ça c'est l'expérience. »

Dans le deuxième extrait, il indique que l'expérience permet de comprendre l'activité finalisée :

> ET2OU-48 : « Alors ça c'est à force d'usiner, on sait à peu près par où il faut commencer, par où il faut finir, parce qu'on a l'habitude parce qu'on a moins de problèmes. […]. Et ça c'est à force de faire, […]. »

Enfin, dans ce dernier extrait, l'expérience (dans le temps) permet d' « accumuler » et d'élargir les classes de situations :

> ET2OU-114 : « Ah oui, c'est sûr qu'on a fait une pièce, on s'est embêté pour la faire et quand six mois après il y avait une autre pièce qui arrivait, à peu près du même style, alors l'autre fois, on s'est embêté à faire ça, cela on va le faire à peu près de la même façon parce que comme ça, ça marche et de l'autre façon ça marche pas, donc ah oui oui, ça c'est fait, […]. Ça c'est à force de s'embêter, on sait à peu près comment il faut le faire, à force d'expérience on sait par où il faut commencer et voilà. »

2. La deuxième situation correspond au choix des conditions de coupe. Dans ce cas, les réponses de l'opérateur dans les deux entretiens font référence aux apprentissages réalisés grâce à l'expérience.

Le premier extrait fait référence à l'importance de l'expérience pour déterminer la valeur de la vitesse de rotation en situation :

> ET1OU-28 : « […] c'est les conditions de coupe et les outils qui vont avec la matière qu'on usine, et ça c'est pas toujours facile. Et on arrive toujours pareil, on arrive à adapter à faire avec, avec l'expérience».

Le deuxième extrait se rapporte aux variables qui interviennent dans le calcul de la vitesse de coupe et de leur prise en compte, en fonction des indicateurs fournis par la situation :

> ET2OU-80 : « on regarde la vitesse qu'on a avec le programme et après... Ça c'est pas une science vraiment dire on tourne à tant de mètres minutes, ou on avance tant, ce n'est pas toujours le cas… Dès fois ça marche, dès fois ça marche pas, parce que suivant la face qu'on prend il y a beaucoup de choses qui peuvent changer : la profondeur de pas, le diamètre de l'outil, la matière qu'on travaille […]. Ça fait qu'on fait à peu près, mais ça c'est l'expérience qui fait qu'on se rapproche le plus vite avant de commencer on sait à peu près, on sait à quelle vitesse il faut se tenir […]. Ah oui, c'est l'expérience qui fait ça […] »

L**'identification des obstacles des opérateurs novices** est essentielle dans une approche didactique car elle permet à priori d'identifier la présence de ces obstacles dans la situation de formation. Cela permettra de comparer les difficultés des opérateurs novices dans le contexte professionnel avec ceux des étudiants en formation initiale. Ces obstacles peuvent empêcher l'évolution et l'élargissement des modèles opératifs des acteurs. Pour les identifier dans le contexte professionnel, nous nous appuyons sur les discours du chef d'atelier et de l'opérateur.

Le premier obstacle est lié à la vision des pièces dans l'espace. Cet aspect a déjà été étudié, notamment par Vérillon et Rabardel (1988). Ces auteurs ont étudié l'apprentissage du dessin technique, qui dans le cadre de l'enseignement professionnel, « ont tendu à privilégier des apprentissages de type procédural » (Ibid., p 159). Cette forme d'enseignement technique a conduit, selon eux, à valoriser la forme du savoir au détriment de son « sens ». Cette forme d'enseignement peut être à l'origine de l'obstacle décrit par le chef d'atelier (ETCA-95-99) : d'abord il explique la difficulté dans la lecture des plans, liée à la vision des pièces dans l'espace. Il précise que cette difficulté peut conduire à une autre en relation avec la rotation des repères :

> ETCA-95 : « Alors les problèmes que rencontrent les gens, […] Ils ne voient pas la pièce dans l'espace. Parce qu'après quand on va tourner la pièce, ils ont du mal à revoir, quand on a une pièce, on tourne la pièce mais le repère tourne avec la pièce évidemment et beaucoup de gens ont du mal, les gens tournent la pièce mais ils ne tournent pas les repères […]

Afin de dépasser cet obstacle, il propose aux opérateurs novices de travailler avec un cube :

> […] Donc on en a souvent des cubes, avec des repères xyz et on leur montre, voyez quand on tourne. Alors ça c'est le problème qu'ils ont. Les gros problèmes avec les BAC PRO c'est la rotation des repères et des pièces ».

Cette méthode est partagée par l'opérateur sur machine qui l'exprime de la façon suivante :

> ET2OU-160 : « pour faire un cube, dès fois, qu'ils ne savent pas, comment il faut le positionner, tu fais comme ça et comme ça et comme ça, et tu verras que ça ira mieux, »
> ET1OU-64 : « Pour un débutant la première chose qu'il faut qu'il sache faire c'est savoir usiner un cube »

Ensuite d'autres difficultés sont énoncées. Pour l'opérateur (voir ET1OU-66), les novices qu'il observe

- ont des difficultés pour faire un bon réglage,
- oublient de souffler, ce qui peut laisser des résidus de matière sur le brut et affecter à la qualité
- positionnent mal la pièce, par exemple à l'envers
- font des erreurs dans la programmation, de vitesse

Le chef d'atelier décrit le compagnonnage mis en œuvre pour les novices (ETCA-99). Ainsi, diverses personnes s'intéressent à l'évolution du novice, depuis la programmation, l'encadrement et bien sûr son binôme dans les premiers moments d'insertion. De plus, l'exercice de l'activité semble être privilégié pour la formation. Mais, selon le chef d'atelier, après avoir surmonté les difficultés initiales :

> ETCA-99 : « Et alors, après quand ils prennent confiance, alors là, c'est l'oubli, la confiance qui monte trop rapidement et qui fait que le gars, qui a trop travaillé de mémoire, il oublie. »

En conclusion, un obstacle fondamental a été identifié dans l'activité d'usinage, il est lié à la vision dans l'espace, et au concept organisateur de positionnement de la pièce. Les difficultés des novices sont énoncées par les acteurs en opposition aux acquis de l'expérience. Cependant, il y a des obstacles dus à la complexité de l'activité d'usinage auxquels même les « expérimentés » sont toujours confrontés (ET2OU-116) : « Mais toujours pareil, dès fois, un truc simple qu'on se dit ça va marcher et on ne sait pas pourquoi ça marche pas. Parce que ça arrive : parce que c'est la forme, parce que c'est l'outil qui … ».

Le **transfert** est lié à l'élargissement des classes des situations dans lesquelles le sujet est « capable », donc efficace. Le transfert peut consister à effectuer la même activité, avec une autre machine (une autre marque), ou sur un autre support (le simulateur). Le transfert porte ici sur la situation de la mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN, l'objectif étant d'expliquer la généralisation de cette démarche, sur d'autres types de MOCN, d'autres marques. Le transfert est important dans la présente recherche qui s'intéresse à l'utilisation d'un instrument, simulateur pour la formation avec des MOCN. En effet, le principe de réglage est le même pour toutes les machines. Nous pouvons donc penser qu'une procédure effectuée sur un simulateur pourrait permettre au sujet de développer des schèmes, et donc d'être efficace face à une machine outil à commande numérique. Le discours de l'opérateur soutient l'existence d'un principe de réglage généralisable à toutes les machines outils, mais avec la différence liée au type de machine, et donc au type de langage CN associé (ET1OU-79) : « Toujours pareil, on doit faire les origines machine, les origines pièce, longueur d'outil, diamètre d'outil où rayon, […]et après c'est le langage qui change, parce que ma machine est NUM® et les machines qui sont ici sont NUM® ? Bon c'est pas tout à fait le même langage, sinon les principes sont tout à fait pareils » (voir aussi ET1OU-80).

Le transfert est aussi lié à l'acquisition de certaines compétences, par exemple relatives au concept organisateur de positionnement de la pièce, compétences qui permettent au sujet de

passer de la réalisation de l'usinage d'une pièce à sa programmation. Les acteurs interrogés sur ce concept organisateur pointent l'intérêt d'avoir de l'expérience en usinage pour faire de la programmation. C'est selon ces auteurs, un transfert de connaissances entre l'usinage et la conception et programmation qui se met en œuvre. Les connaissances qui se mobilisent sont en relation avec les concepts organisateurs, notamment celui relatif aux positionnements successifs de la pièce. Le discours du chef d'atelier met en relief les difficultés liées à ce manque d'expérience :

> ETCA-22 : « Aujourd'hui toutes les personnes qui font de la programmation ont fait de l'usinage. On a essayé à l'époque, de sous-traiter de la programmation avec des gens qui n'ont jamais fait d'usinage, et on a eu beaucoup de soucis au niveau méthodologie et au niveau coupe, c'est-à-dire que les gens avaient du mal à définir eux même les vitesses de coupe et du mal à définir quel outil était le mieux adapté pour tel type d'opération, parce que ces gars ne sont pas passés par l'usinage. Les gens qui aujourd'hui programment et qui sont passés par l'usinage ont beaucoup plus de facilité et il y a beaucoup moins de rejets.
> Et aussi il y a en conception les gens qui sont en conception qui ont fait de l'usinage, qui ont fait du montage, ont une vision, on va dire, beaucoup plus optimisée de la pièce, de la structure de la pièce que les gens qui ne l'ont pas fait. »

Cette vision est partagée par l'opérateur (Voir ET2OU-52 et ET2OU-98)

Cette analyse a permis de mettre en évidence trois catégories d'éléments qui interagissent dans l'apprentissage des opérateurs novices.

- D'abord, l'importance consacrée à l'expérience et à l'apprentissage par l'activité, illustrée par le biais de discours de l'opérateur.
- Ensuite, l'identification des obstacles chez les novices, qui relèvent des obstacles épistémologiques déjà analysés par Rabardel et Vérillon (1988), et de certains « oublis » de la part des novices confrontés à la situation. Le rapport entre les obstacles et l'expérience a permis de différencier ainsi deux types de difficultés : d'une part les difficultés qui sont propres à la complexité de l'activité, et dans lesquelles les savoir-faire issus de l'expérience sont importants, voire indispensables afin de développer les modèles opératifs. D'autre part, les difficultés des novices, qui peuvent être dépassées dans le contexte professionnel grâce à la pratique et par le compagnonnage.
- Enfin, une dernière partie a été consacrée au transfert de deux types de compétences :

1. le schème s'applique à la même classe de situations, le transfert consiste à changer de machine outil, le principe de réglage sera le même,
2. transfert du schème vers une autre classe de situations, le transfert est plus complexe, et lié au concept organisateur de l'activité, il consiste à acquérir des connaissances permettant une conception et une programmation des pièces qui seront aptes à l'usinage.

DISCUSSION DES RESULTATS ET APPLICATIONS POUR LA SUITE

Nous avons relevé des concepts qui organisent l'action d'un opérateur expert en situation professionnelle. Ces concepts organisateurs peuvent être d'origine pragmatique ou scientifique (Pastré, Vergnaud et Mayen, 2006).
Nous avons identifié certains concepts scientifiques qui ont été pragmatisés, pour servir de diagnostic dans l'action, voir l'expression des Charles ou le calcul approximatif de la vitesse de rotation pour ensuite réguler cette vitesse au cours de l'activité.
L'objectif est maintenant d'utiliser la structure conceptuelle de la situation comme outil pour analyser la transposition didactique. Cela impose l'élaboration du modèle mental de l'ingénieur (Pastré, 2004, p 23) par l'introduction des concepts scientifiques. Certes, beaucoup de ces concepts scientifiques servent au diagnostic de l'action, et surtout permettent le passage entre une activité d'usinage et une activité de programmation ou de conception des pièces, comme nous l'avons vu lors de l'analyse de transfert.
Nous avons donc ouvert deux voies :
La première voie s'intéresse à la caractérisation d'une activité, et aux concepts mobilisés par sa mise en œuvre. L'activité de mise en fonctionnement et de réglage d'une MOCN a été choisie car elle constitue un objectif majeur de la situation de formation. Nous avons ici avancé les rapports entre cette activité et la structure conceptuelle de la situation d'usinage. Cependant, les savoirs sous-jacents à la tâche n'ont pas encore été analysés. Ceci semble indispensable pour analyser le processus transpositif, l'objet du chapitre suivant des résultats.
La deuxième voie n'a pas encore été explorée dans cette partie. Elle est relative au phénomène de l'évolution temporelle de la broche. Cette notion est identifiée en contexte professionnel au processus thermique de dilatation de la broche. L'analyse de ce savoir du contexte professionnel au contexte de recherche et ensuite à la formation technologique supérieure, permettra d'analyser le processus transpositif d'une autre manière. Cela fera aussi l'objet du chapitre suivant des résultats.

Chapitre 7:
Etude de la modélisation des concepts techniques

CHAPITRE 7

ETUDE DE LA MODELISATION DES CONCEPTS TECHNIQUES

7.1 Méthodologie pour l'étude de la modélisation des concepts techniques
7.2 Présentation du phénomène d'évolution temporelle de la broche
7.3 Etude de la modélisation d'un concept technique : l'évolution temporelle de la broche
7.4 Analyse globale du processus d'élaboration du modèle
7.5 Caractérisation des modèles élaborés

Ce chapitre est consacré à l'étude de la modélisation d'un concept technique dans le champ de génie mécanique. Une première partie s'intéresse à la méthodologie. La deuxième partie concerne le phénomène d'évolution temporelle de la broche en contexte industriel et en contexte de recherche. La troisième partie est consacrée aux résultats de l'étude de la modélisation effectuée sur le phénomène de dilatation de la broche dans le champ de recherche en génie mécanique. La quatrième est la cinquième partie sont consacrées à l'analyse de la modélisation.

L'objectif de l'étude de la dilatation de la broche est d'analyser la modélisation des concepts techniques.

Ce chapitre a pour but la validation des hypothèses concernant la modélisation des concepts techniques. La construction de ces concepts a pour origine une étude réalisée dans le contexte professionnel. Les analyses relatives à l'activité d'un opérateur expert seront utilisées.

7.1 METHODOLOGIE

La modélisation des concepts techniques est réalisée grâce à des ancrages théorique et méthodologique.

7.1.1 ANCRAGE THEORIQUE

Une partie du cadre conceptuel a été consacrée à l'articulation des notions relatives à l'élaboration des concepts techniques. Deux mouvements ont été présentés, celui de pragmatisation des concepts théoriques (scientifiques ou techniques) et celui de modélisation des concepts pragmatiques.

La modélisation des concepts pragmatiques[90] s'appuie sur trois idées :

- Le concept pragmatique (Pastré, 1992) qui a été revisité aussi lors des analyses menées en contexte professionnel. On rappelle les caractéristiques : un concept pragmatique est construit dans l'action, organise l'action et a une dimension sociale.
- Le modèle (Martinand, 1996) qui est construit à partir d'une exigence d'ordre pratique et d'ordre scientifique.
- Le concept technique (Vidal-Gomel et Rogalski, 2007) qui permet de caractériser les constructions conceptuelles à partir des concepts pragmatiques.

Le mouvement de théorisation a pour objectif de modéliser un concept pragmatique et de suivre son évolution vers un concept technique. Ce travail garde le caractère pragmatique du contexte initial, tout en élargissant son domaine de validité.

La question d'orientation porte sur les modalités d'élaboration des concepts techniques. L'hypothèse[91] proposée concerne deux aspects :

- L'intérêt est ainsi d'abord porté à l'*origine* (concepts pragmatiques) et au *produit* (concepts techniques). Cela permet d'inscrire l'analyse dans l'étude de la dialectique entre le contexte professionnel et celui de la recherche. Ce dernier peut aussi être

[90] Voir cadre conceptuel, paragraphe 3.2.2
[91] L'hypothèse est formulée ainsi : « dans la théorisation des savoirs pragmatiques, un processus de modélisation permet aux concepts techniques résultants de préserver leur visée pragmatique tout en élargissant leur domaine de validité », voir problématique, paragraphe 4.1.1

considéré comme une partie du contexte de la formation selon le modèle universitaire de l'éducation scientifique identifié.

- La réflexion porte ensuite sur *le processus* d'élaboration d'un concept technique (le comment), par le biais de la modélisation.

7.1.2 METHODOLOGIE D'ETUDE DE LA MODELISATION DU PHÉNOMÈNE DE DILATATION DE LA BROCHE

La méthodologie proposée est construite pour l'étude d'un seul phénomène. Elle s'inscrit donc dans le cadre d'une démarche qualitative. Le choix du cas étudié a été explicité dans la première partie des résultats : la dilatation de la broche constitue un phénomène qui est abordé pendant la séance de formation avec simulateur. Ce phénomène est maintenant présenté dans le contexte professionnel et dans le contexte de la recherche.

Les données relatives *au contexte professionnel* sont les transcriptions des entretiens avec le chef d'atelier et avec l'opérateur. Ces données sont analysées par une catégorisation basée sur la structure conceptuelle de la situation[92].
Les données relatives *au contexte de la recherche* sont une thèse portant sur la modélisation du phénomène, un entretien mené auprès du chercheur (P2) auteur de cette thèse et un entretien réalisé avec le directeur de la thèse (P1)[93]. La méthodologie d'analyse est en accord avec l'hypothèse du processus d'élaboration d'un concept technique, par la modélisation d'un concept pragmatique.

L'analyse des données relatives au contexte professionnel vise à déterminer si le phénomène de dilatation de la broche est associé à un concept pragmatique. L'analyse des données relatives au contexte de recherche cherche à transposer la notion de modèle proposée par Martinand (1996) en contexte de formation, vers le contexte de recherche. Pour cela, nous analysons les productions effectuées dans le champ de génie mécanique. Enfin, il s'agit de s'interroger sur les résultats de la recherche : aboutit-on à un concept technique ?

[92] En effet, c'est à partir de l'analyse basée sur les notions autour de la structure conceptuelle de la situation que nous avons pu identifier la dilatation de la broche comme étant une situation de dysfonctionnement.
[93] Sur cet entretien nous ne disposons pas de transcriptions. L'objectif étant de vérifier les analyses effectuées, les questions ont concerné l'origine des problématiques de recherche, le cadre théorique mobilisé dans la thèse en génie mécanique, et la modélisation effectuée.

7.2 PRESENTATION DU PHENOMENE D'EVOLUTION TEMPORELLE DE LA BROCHE

Cette partie s'organise en fonction des contextes ciblés pour l'étude du phénomène de dilatation de la broche : le contexte professionnel et celui de la recherche en génie mécanique.

7.2.1 ANALYSE DU PHENOMENE LIE A LA DILATATION DE LA BROCHE EN CONTEXTE PROFESSIONNEL

La dilatation de la broche est considérée dans le contexte professionnel comme étant un effet thermique qui peut être régulé par l'activité de l'opérateur. Le chef d'atelier établit la relation entre ce phénomène et la précision de la machine (ETCA- 55) :

> « Ça aujourd'hui c'est le problème de précision qu'on a sur les grosses machines, quand un constructeur vous dit une grosse machine nous on peut pas être en dessous de 5 centièmes c'est à cause de ce souci là//, d'inertie thermique et de correction inter axe ».

Dans cette approche, on considère la dilatation de la broche comme un effet thermique. Ce phénomène est relatif à une classe de situations que l'on peut qualifier de « dysfonctionnement en cours du processus d'usinage d'une pièce. » La dilatation de la broche affecte le concept organisateur « qualité requisse de la pièce » ; l'opérateur explicite ce phénomène (ET1OU-38) et la manière dont il régule alors l'activité (ET2OU-130) :

Tableau 10 : échanges verbaux avec l'opérateur sur la régulation de son activité en cas de dilatation de la broche
CH : Comment savez vous que l'outil commence à se dilater ?
OU : En profondeur, c'est surtout la profondeur quand ça bouge, comme ça, enfin, ça c'est un contour. Si vous voulez il y a XY, on contrôle la pièce si ça a bougé on rattrape avec l'origine. Mais l'outil pas lui-même, en diamètre il gonfle pas lui.
CH : Donc en profondeur d'usinage…
OU : Voilà en profondeur, donc ça fait qu'on a la course en Z qui bouge parce que ça un peu dilatée, mais là c'est l'affaire de deux ou trois centièmes, ce n'est pas… bon, chez moi ; Il y a certaines machines que… peut être plus…, mais c'est pas quand même… Donc si on veut être précis il faut le contrôler. Mais ça on le sait, on contrôle quand c'est précis mais ça va pas trop bouger, et on corrige. On corrige la longueur d'outil ou l'origine. Toutes ces déformations sont dues à la chaleur.

Ces échanges permettent de relever trois éléments :

1. L'indicateur, en tant qu'observable, qui permet à l'opérateur d'identifier le phénomène de dilatation de la broche est la modification de la profondeur d'usinage. On peut la contrôler sur la pièce usinée.
2. La variabilité de ce phénomène : la dilatation dépend de la température, mais aussi de la machine.
3. La stratégie mise en œuvre pour réguler ce phénomène : l'opérateur corrige les défauts d'usinage - il est toujours guidé par le concept organisateur « qualité requise de la

pièce » - soit par une compensation dans l'axe Z, soit par une compensation de la longueur d'outil, de la même façon qu'il agissait pour introduire le PREF ou la longueur d'outils lors de la phase de réglage de la machine.

Ce phénomène est étudié maintenant, dans le contexte de la recherche en génie mécanique.

7.2.2 ANALYSE DU PHENOMENE : EVOLUTION TEMPORELLE DE LA BROCHE, EN CONTEXTE DE RECHERCHE

Nous nous intéressons ici à la construction d'une problématique de recherche à partir d'une problématique industrielle : l'analyse du phénomène de l'évolution temporelle de la broche. Nous avons noté que ce phénomène de dilatation de la broche, est nommé différemment dans les deux contextes, professionnel et de la recherche. Faute de pouvoir démontrer que la dilatation de la broche est un phénomène d'origine exclusivement thermique, les chercheurs parlent en termes d' « évolution temporelle de la broche ». Le contexte professionnel procède à une réduction (opératoire) des causes qui provoquent la dilatation de la broche, ce qui n'est pas un objet en contexte de recherche[94]. Le germe de la problématique de la recherche dans le champ du génie mécanique a été explicité par P1. Lors d'un échanges avec les industriels (d'Airbus®), les ingénieurs demandent aux chercheurs :

- Comment dans un parc des machines (MOCN) d'un atelier, on peut connaître la machine la moins apte pour effectuer un usinage déterminé ?

Cette question est relative à un critère de minimum, si l'on connaît la machine la moins apte à effectuer un usinage, on peut conclure que les autres machines du parc seront davantage capables de l'effectuer dans des meilleures conditions, et on pourra programmer l'organisation de l'atelier en fonction de ce critère. Cette question a permis, selon P1, de poser une nouvelle problématique de recherche dans une équipe de production (en génie mécanique) : Comment évaluer les capacités d'une machine, et si possible avec un test simple de manière à ce que le temps d'arrêt de la machine soit raisonnable (voir ETCA-53 :54). Cette problématique est au cœur d'un axe de recherche qui a fait l'objet à ce jour de trois thèses. Dans celle qui nous intéresse, intitulée « contribution à l'amélioration de la qualité d'usinage en fraisage 3 axes sur Machines Outils à Commande Numérique par la mise en place d'un compagnon virtuel » (Landon, 2003), et plus précisément dans la partie relative aux objectifs de la thèse, l'auteur indique :

[94] En effet, dans le champ de la recherche en génie mécanique, et dans l'approche de la caractérisation globale des défauts, il n'est pas démontré que les phénomènes thermiques soient la seule source d'erreur.

> « Notre objectif est alors de retrouver la faculté de l'acquisition de l'expérience de l'opérateur de machine conventionnelle par la mise en place d'un « compagnon virtuel » associé à la MOCN. Son rôle est d'adapter le pilotage de la machine en prenant en compte des défauts de fabrication » (Ibid., p 12)

Landon (2003, p 12) propose de modéliser expérimentalement les défauts, et détermine des procédures de caractérisation rapide de ceux-ci avec l'objectif qu'ils soient applicables industriellement.

Cet aperçu rapide de la problématique du travail de recherche en génie mécanique permet de dégager certains aspects. La dialectique entre le contexte industriel et de la recherche se manifeste dans ce cas de manière étroite, au point d'orienter des recherches à partir des besoins industriels.

- l'objectif affiché de la thèse est de prendre en compte l'expérience de l'opérateur.
- la méthodologie mise en œuvre cherche à effectuer une caractérisation rapide des défauts, permettant une application industrielle

Cependant la problématique de recherche en génie mécanique ne s'intéresse pas directement à l'activité de l'opérateur au pied de la machine quand il régule la situation de dysfonctionnement, et corrige les défauts liés à l'évolution temporelle de la broche.

7.3 ETUDE DE LA MODELISATION D'UN CONCEPT TECHNIQUE : L'EVOLUTION TEMPORELLE DE LA BROCHE

Compte tenu de l'ancrage théorique et méthodologique, des questions d'orientation et des hypothèses concernant l'élaboration des concepts techniques, par le biais de la modélisation des concepts pragmatiques, l'analyse des résultats est organisé en trois volets :

1. Le concept de dilatation de la broche, est-il un concept pragmatique ? L'approche théorique des concepts pragmatiques permettra d'établir son statut et de revenir à l'origine de la problématique dans le champ du génie mécanique.
2. L'étude de la modélisation effectuée dans le champ de génie mécanique, par l'analyse comparative de différentes productions scientifiques issues d'un même travail de recherche. Cela permettra de comparer la modélisation effectuée pour l'étude de l'évolution temporelle de la broche avec d'autres présentes dans la même recherche.
3. Le produit de la production scientifique, est-il un concept technique ?

7.3.1 LE PHENOMENE DE DILATATION DE LA BROCHE PEUT-IL ÊTRE MIS EN RELATION AVEC UN CONCEPT PRAGMATIQUE ?

Rappelons les caractéristiques d'un concept pragmatique :

1. « Il est construit dans l'action. Autrement dit, son origine n'est pas théorique, mais pratique, […]
2. Il est un concept organisateur de l'action, dans la mesure où il permet d'identifier dans quelle classe de situations un acteur se trouve. Il permet de faire un diagnostic et ainsi d'orienter l'action pour qu'elle soit efficace […]
3. Un concept pragmatique a une dimension sociale : il est reconnu comme organisateur de l'action par la communauté professionnelle […]» (Pastré, Mayen et Vergnaud, 2006, pp 164-165)

Lors de l'analyse de la situation d'usinage par une MOCN, la description de ce phénomène en contexte professionnel a été effectuée. Nous pouvons mettre en perspectives les caractéristiques identifiées avec celles d'un concept pragmatique.

Le phénomène d' « évolution temporelle de la broche », est en contexte professionnel, identifié comme « la dilatation de la broche ». Cependant, il est difficile de différencier s'il s'agit d'un concept construit dans l'action, ou s'il s'agit d'un concept scientifique (technique) qui a « été pragmatisé pour servir d'assise à un diagnostic » (Ibid., p 165).

Le phénomène de la dilatation de la broche a été caractérisé comme appartenant à une situation de dysfonctionnement identifiée à l'aide d'un indicateur, la variation de la profondeur d'usinage. L'identification de la classe de situations permet ainsi d'établir une stratégie dans l'action : compenser par action sur l'axe Z des origines ou par la variable « longueur d'outil ».

Il est évident que la dilatation de la broche et la méthode de compensation associée à cette situation, sont partagées dans le contexte professionnel. Ainsi, le chef d'atelier et l'opérateur partagent le même discours : sur l'origine thermique du phénomène, sur les indicateurs de son diagnostic et sur les stratégies à mettre en œuvre.
Nous pouvons ainsi attacher à « la dilatation de la broche », deux des caractéristiques d'un concept pragmatique, sans pour autant pouvoir discerner s'il s'agit d'un concept élaboré dans la pratique ou d'un concept théorique qui a été pragmatisé. Il semblerait que ce concept soit :

- Un concept construit dans la pratique pour l'opérateur, reconnu dans la profession, organisateur d'actions, donc un concept pragmatique.
- Un concept théorique pragmatisé pour les ingénieurs (et chercheurs en mécanique).

Vidal-Gomel et Rogalski (2007, p 62) signalent que « les concepts pragmatiques existent dans les domaines pour lesquels les conceptualisations théoriques sont insuffisantes ». Pour un opérateur, la dilatation de la broche a un effet sur la qualité de la pièce usinée. Il est donc intéressé par les stratégies de compensation, peu importe si l'origine est thermique ou autre, il envisage la correction dans le cadre de son travail, avec « sa » machine outil à commande numérique.

Pour le chercheur, la dilatation de la broche est un des phénomènes liés aux défauts dans l'usinage des pièces, qui englobe de nombreuses causes de défauts. Il est intéressé à leur caractérisation rapide sur n'importe quelle MOCN.

La partie suivante s'intéresse à l'étude d'une conceptualisation théorique concernant l'élaboration d'un concept technique à partir des sources pragmatiques et plus précisément au processus de conceptualisation mis en œuvre par le chercheur pour répondre à une problématique pragmatique.

7.3.2 CONDITIONS DE L'ETUDE DE LA MODELISATION EFFECTUEE DANS LE CHAMP DE GENIE MECANIQUE

Dans cette partie, nous étudions la modélisation dans le champ du génie mécanique. Elle est organisée en deux étapes :

- Nous déterminons les critères d'analyse de la thèse présentée précédemment (Landon, 2003) et des extraits de l'entretien avec l'auteur de cette thèse.
- Nous proposons une courte synthèse de cette thèse afin de déterminer les caractéristiques générales des modèles et les modalités de construction des modèles.

7.3.2.1 Analyse du document : critères d'analyse

Afin d'approfondir l'analyse des modélisations apportées par cette thèse en génie mécanique, nous effectuons une analyse de contenu (Bardin, 1977) par catégorisation thématique. Le choix des catégories découle du cadre conceptuel. Une analyse globale s'intéresse au processus de création de modèles, puis des critères de définition permettent de caractériser de manière plus précise les modèles élaborés.

Le processus de création de modèles

Martinand et al. (1994) proposent dans l'étude du processus de modélisation une dialectique entre le registre du modèle et celui de référent empirique, représentée par la figure suivante :

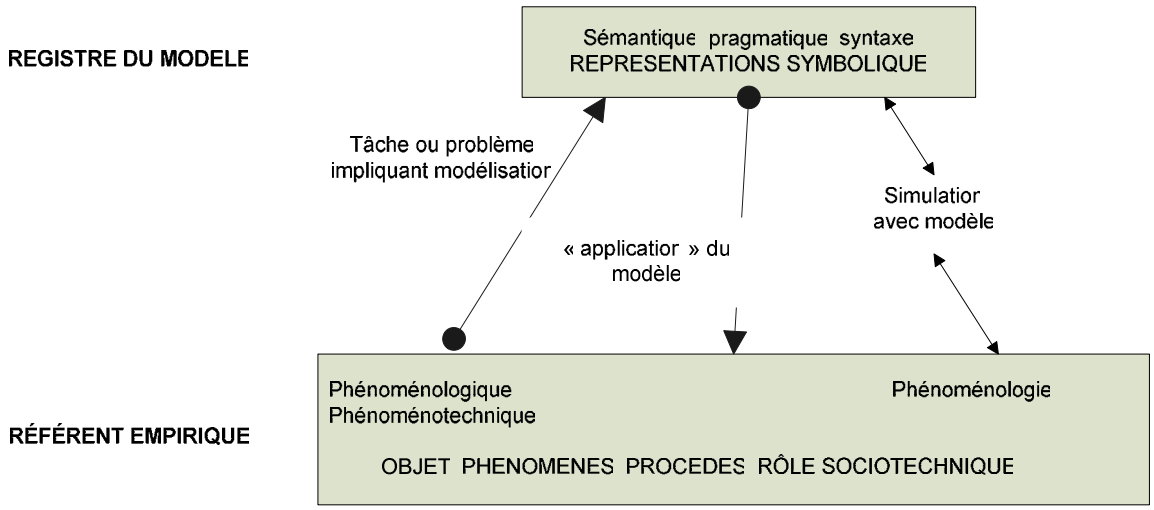


Figure 13 : Registre de modèles et registre du référent empirique (Martinand, 1994)

Cette construction s'intéresse au processus de modélisation pour des élèves. Nous avons déjà indiqué notre intention d'appliquer ce modèle au processus d'élaboration des concepts techniques à partir des concepts pragmatiques.

Cependant certains aménagements sont proposés afin d'adapter ce schéma à la conceptualisation qui est effectuée, non pas par des élèves dans leurs apprentissages mais par des chercheurs dans l'élaboration des concepts techniques.

1. Ainsi, la proposition « tâche ou problème impliquant modélisation », intéresse Martinand (1996, p 7) par sa relation avec les processus de modélisation que les élèves peuvent prendre en charge. Dans le cadre de cette recherche, cet élément a son correspondant dans la problématisation à l'origine de la recherche en génie mécanique.
2. Par rapport à la distinction registre du modèle/ référent empirique, nous reprenons la réflexion de Martinand (1996)[95], selon laquelle le rôle des modèles en sciences expérimentales est analogue à celui des concepts et théorèmes, « ils se réfèrent à un ordre de réalité que l'on appellera référent » (Ibid., p 7). Il continue en indiquant que ce référent est constitué par des éléments qui peuvent être issus des conceptualisations, et qui ont un statut empirique.
3. Martinand (1996) explique que ce schéma permet de discuter ce qu'il appelle « la description première », avant modèle et la description seconde dans laquelle le modèle « se projette » sur le référent. Dans le champ de la recherche en génie mécanique, cela

[95] Martinand s'inspire de la théorie du signe de De Saussure et de la Théorie de Champs Conceptuels de Vergnaud (1990)

correspond aux processus même d'élaboration et d'application (à travers la simulation très souvent) du modèle pour le confronter à la réalité.

Dans le champ de la technologie, l'élaboration des concepts peut suivre des processus indépendants des savoirs scientifiques (Vérillon, 1999 ; Vicenti, 1992). Pour tenter de comprendre les modalités d'élaboration des concepts techniques, nous proposons de partir de la notion de modèle développée par Martinand (1996) pour analyser les processus de conceptualisation des étudiants. Nous centrons l'attention sur l'élaboration de modèle, par un transfert entre l'utilisation des modèles dans l'enseignement en sciences expérimentales et les conceptualisations que mettent en œuvre les chercheurs en génie mécanique. L'analyse de ce processus constitue ainsi un premier critère d'analyse de la thèse en génie mécanique. Il s'agit d'effectuer une analyse globale des stratégies mises en œuvre par les chercheurs afin de proposer un modèle.

La caractérisation des modèles

La notion de modèle (Martinand, 1996) a été explicitée lors du cadre conceptuel, l'exposé se limite ici aux critères que nous pouvons établir à partir de sa définition :

1. Le type de modélisation, caractérisée fonctionnellement
2. L'identification de la réduction opératoire effectuée par le modèle permettant d'établir les conditions de son utilisation
3. La visée scientifique, permettant de caractériser une partie de l'objet technique.

7.3.2.2 Caractérisation générale du document de recherche en génie mécanique

Nous avons signalé que le concept organisateur de l'activité d'un opérateur sur machine, « la qualité requise de la pièce », était imposé par l'organisation sociale du travail, et par la productivité liée à la concurrence des entreprises dans le marché. Ce même critère semble guider les problématiques énoncées par les industriels et développées par les chercheurs en mécanique. La figure 14 permet de visualiser l'organisation générale du tapuscrit.

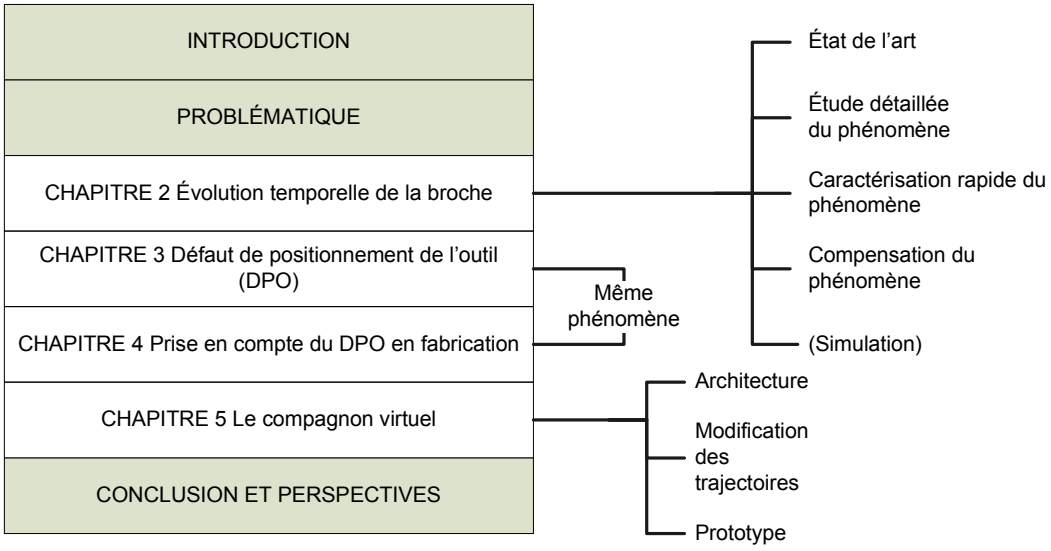


Figure 14 : Organisation du tapuscrit de la thèse en génie mécanique

Les chapitres 2, 3 et 4 concernent des résultats de recherche qui sont présentés de manière identique. Les phénomènes étudiés sont :

- L'évolution temporelle de la broche, dans le chapitre 2.
- Les défauts de positionnement de l'outil, dans les chapitres 3 et 4.

La structure du chapitre 2 de cette thèse en génie mécanique correspond à la construction de la modélisation de l'évolution temporelle de la broche :

D'abord, un état de l'art, dans lequel un parcours de la littérature concernant l'étude du phénomène est proposé. Un résultat important commun a plusieurs recherches est signalé : « l'aspect thermique est non négligeable dans la précision d'usinage d'une MOCN » (Landon, 2003, p 48). Un critère commun permet d'écarter les modèles existants : *les modèles ne sont pas applicables industriellement* (Landon, 2003, pp 48, 84). Cela débouche sur la proposition d'élaboration d'un modèle empirique.

Ensuite, la deuxième partie est consacrée à l'étude détaillée de l'évolution temporelle des caractéristiques de la broche, et permet de délimiter l'objet de recherche :

- La détermination de l'erreur temporelle se limite à la broche
- L'axe X est écarté de l'étude (à cause de la symétrie qui permet de compenser les défauts) qui ne concerne donc désormais que les axes Y et Z

La compensation du phénomène correspond aux résultats de ce chapitre. La conclusion permet d'éclairer les apports de cette modélisation :

> « Notre méthode de caractérisation de l'évolution temporelle de la broche [..] nous permet d'abord de faire le lien entre le déplacement axial de la broche (suivant Z), le temps et la fréquence de rotation. La formulation mise en place fait intervenir trois coefficients facilement identifiables expérimentalement.

> Elle permet en outre un recalage temporel des modèles afin de modéliser un usinage complet en intégrant les changements de régime de rotation » (Ibid., p 81)

Le modèle proposé porte sur la détermination de certains coefficients[96] permettant la caractérisation de l'allongement dans l'axe Z, et donc d'effectuer les mesures avant la stabilisation du défaut (Ibid., p 74).
Cet aperçu rapide de la thèse, permet de comprendre l'origine de la problématique, les objectifs de la thèse, les points de départ et le point d'arrivée. Nous avons ici limité l'analyse du document à la partie relative à l'évolution temporelle de la broche, dans l'axe Z.

Pour la suite, l'intérêt est porté aux enjeux épistémologiques de la modélisation effectuée dans la thèse en génie mécanique. Nous élargissons l'étude à d'autres modèles proposés dans le même document.

7.4 ANALYSE GLOBALE DU PROCESSUS D'ELABORATION D'UN MODELE

Dans l'analyse macro du processus d'élaboration d'un modèle, trois parties sont repérées. La première porte sur le paradigme épistémique énoncé dans la figure proposée par Martinand (1994), en relation avec ce que doit être la connaissance, et les ressources théoriques (langages, schémas, théories).

7.4.1 ETUDE DU PARADIGME EPISTEMIQUE

En relation avec le paradigme épistémique[97], nous rappelons certains des caractères du laboratoire de recherche en génie mécanique[98], comme le rapport avec le contexte industriel et les différents types de recherches : fondamentale, appliquée et industrielle. Il est important de noter que la thèse analysée relève du domaine de la recherche appliquée et industrielle. En effet, les résultats visent une application immédiate, son domaine de validité est limité et les problématiques sont issues des intérêts des industriels. Une autre caractéristique de ce laboratoire est relative à la manière d'articuler les différents travaux autour de trois axes méthodologiques : la modélisation théorique, la simulation numérique et les développements expérimentaux.

[96] Ces coefficients sont le résultat des calculs mécaniques concernant la relation entre la valeur du défaut et les différentes vitesses et durées de rotation (Landon, 2003, p 66)
[97] Selon Martinand (1996) le paradigme épistémique correspond « à la conception de ce que doit être la connaissance, les formes, des « bonnes pratiques » théoriques ou empiriques » (Ibid., p 17).
[98] Voir paragraphe 3.2 du cadre conceptuel

En relation avec la modélisation du phénomène d'évolution de la broche, une synthèse de la démarche permet de suivre la construction du modèle permettant de caractériser le comportement de la broche dans l'axe Z. Cette construction se déroule en deux étapes :

La première étape est représentée par la figure 15 :

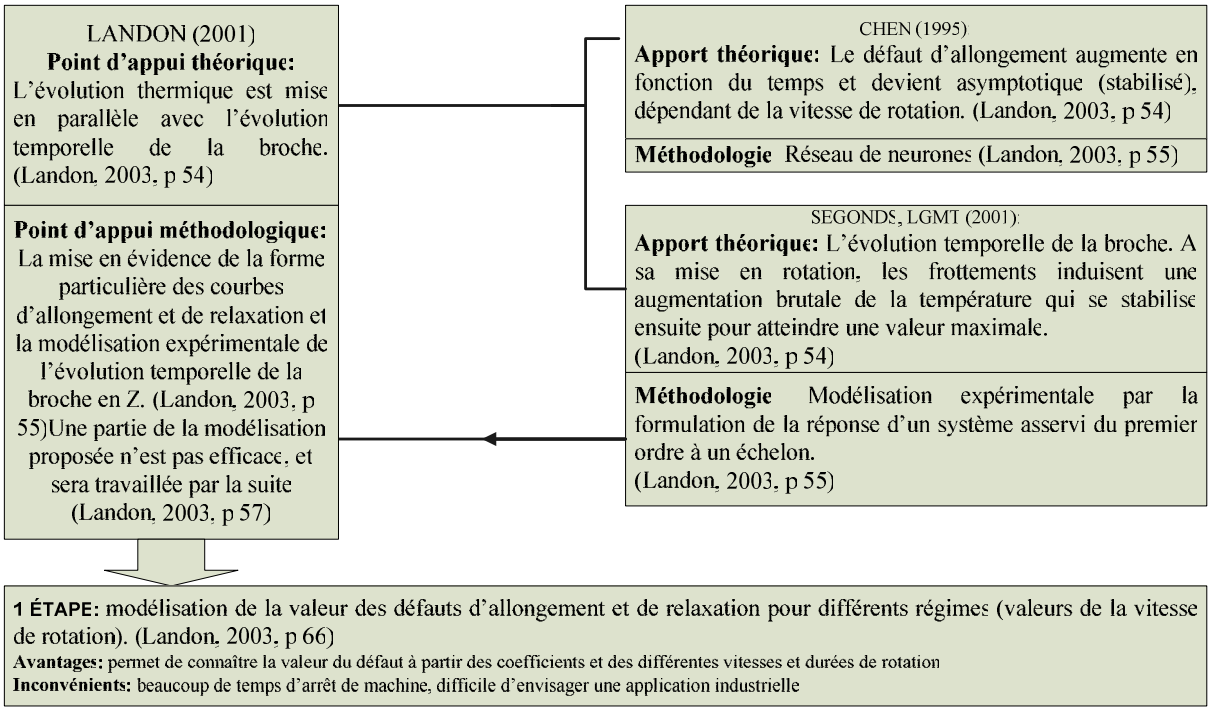

LANDON (2001)
Point d'appui théorique:
L'évolution thermique est mise en parallèle avec l'évolution temporelle de la broche. (Landon, 2003, p 54)
Point d'appui méthodologique:
La mise en évidence de la forme particulière des courbes d'allongement et de relaxation et la modélisation expérimentale de l'évolution temporelle de la broche en Z. (Landon, 2003, p 55)Une partie de la modélisation proposée n'est pas efficace, et sera travaillée par la suite (Landon, 2003, p 57)
CHEN (1995)
Apport théorique: Le défaut d'allongement augmente en fonction du temps et devient asymptotique (stabilisé), dépendant de la vitesse de rotation. (Landon, 2003, p 54)
Méthodologie Réseau de neurones (Landon, 2003, p 55)
SEGONDS, LGMT (2001):
Apport théorique: L'évolution temporelle de la broche. A sa mise en rotation, les frottements induisent une augmentation brutale de la température qui se stabilise ensuite pour atteindre une valeur maximale. (Landon, 2003, p 54)
Méthodologie Modélisation expérimentale par la formulation de la réponse d'un système asservi du premier ordre à un échelon. (Landon, 2003, p 55)
1 ÉTAPE: modélisation de la valeur des défauts d'allongement et de relaxation pour différents régimes (valeurs de la vitesse de rotation). (Landon, 2003, p 66)
Avantages: permet de connaître la valeur du défaut à partir des coefficients et des différentes vitesses et durées de rotation
Inconvénients: beaucoup de temps d'arrêt de machine, difficile d'envisager une application industrielle

Figure 15 Cheminement du cadre conceptuel pour la construction du modèle

Dans cette première étape l'identification des différentes ressources théoriques et méthodologiques mobilisées permet de faire ressortir quelques éléments :

- Le point d'appui théorique est une relation entre les phénomènes thermiques et l'évolution temporelle de la broche, ce qui revient à la forme du concept pragmatique identifié en contexte professionnel.
- La méthodologie s'appuie sur un modèle préexistant, qui ne satisfait pas complètement l'auteur, ce qui l'amène à proposer une amélioration et de nouveaux essais.
- Le résultat de cette première étape est un modèle satisfaisant pour le calcul de la valeur de défauts à partir des certains coefficients et de la vitesse et de la durée de la rotation. Cependant, ce modèle ne correspond pas au critère d'applicabilité industriel (temps d'arrêt de machine).

Dans la deuxième étape est posée une hypothèse de travail :

> « L'évolution temporelle de la broche est un phénomène reproductible et les courbes d'évolution temporelle de la broche en Z sont représentées par les équations antérieures. » (Landon, 2003, p 72)

À partir de cette hypothèse l'auteur propose une démarche qu'il applique à l'étude de l'allongement axial et de la relaxation. Cette démarche est simplificatrice et permet une application industrielle. Enfin, la validation porte sur l'application de la procédure sur une troisième machine (Ibid., pp 74).

7.4.2 ETUDE DU PROCESSUS D'ELABORATION DU MODELE

Le processus de modélisation s'effectue par étapes. L'auteur part d'abord d'un modèle jugé insuffisant d'un point de vue mécanique (visée épistémique) et propose une amélioration à partir des essais sur deux machines. Le résultat est une modélisation jugée alors insuffisante d'un point de vue industriel (visée pragmatique) ce qui l'amène à proposer une procédure simplificatrice.

Afin d'approfondir l'étude de l'élaboration des modèles, nous avons élargi l'analyse à d'autres modèles élaborés dans le même travail de thèse, notamment à propos du défaut de positionnement de l'outil (DPO).

Quelques extraits du document permettent d'identifier les différentes phases dans la modélisation :

1. Le processus de création du modèle

L'objectif est de prédire le défaut de positionnement de l'outil. Le processus mené consiste à relier le DPO aux conditions de coupe appliquées (Landon, 2003, p 114). Il est important de signaler que la critique effectuée aux autres méthodes est basée sur le même critère d'application industrielle qui guidait l'étude sur la broche. Ainsi, la caractérisation s'appuie sur le triplet machine-outil-matériau pour une configuration d'usinage donnée.

> ETCP2-12 : « En fait, l'idée c'était une modélisation relativement pragmatique des défauts, si on prend les défauts de la flexion d'un outil par exemple, il a été énormément traité par la littérature. Le plus souvent les gens passent par d'abord un modèle d'efforts parce que c'est un effort qui fait fléchir l'outil. […] Nous notre idée c'était de dire, ce qu'on veut caractériser, c'est la flexion. Ce qu'on connaît c'est l'outil qu'on utilise, et les conditions de coupe qu'on utilise, pour la matière qu'on usine, sur la machine où on usine. Pourquoi passer par un intermédiaire de liaison ? »

Nous attirons l'attention sur deux aspects :

- D'une part, la visée pragmatique de ce modèle, par son objectif d'application industrielle, en opposition à des modèles issus de théories physiques ou mécaniques et basés sur des théorèmes et/ou des méthodes de calcul.
- D'autre part, le modèle proposé permet une caractérisation globale dans laquelle « les défauts mesurés sur les pièces d'essai sont directement reliés aux conditions

opératoires utilisées (machine outil et matériau usiné, configuration d'usinage conditions de coupe). » (Landon, 2003, p 192)

2. La phase de vérification du modèle :

Lors de l'étude sur la broche, la vérification du modèle passe par le développement d' « une méthode de compensation (ou de visualisation) de ce défaut afin de vérifier la faisabilité de notre méthode » (Landon, 2003, p 81) ; c'est-à-dire par une représentation du résultat permettant de comparer la prédiction de ce modèle avec le résultat de l'usinage sur la pièce.
Concernant le défaut de positionnement de l'outil (DPO), la validation du modèle est d'abord effectuée par des mesures précises (Ibid, p 119). Le modèle est ensuite adapté à d'autres applications, afin d'élargir sa validité.

3. La phase d'extrapolation du modèle :

L'extrapolation des modèles s'effectue dans les deux cas, par généralisation à partir des cas particuliers, et s'appuie selon l'auteur sur un constat théorique : puisqu'il n'y a pas eu d'hypothèses simplificatrices dans l'élaboration des modèles (par la prise en compte des erreurs globales), les procédures de caractérisation proposées sont fiables (Ibid., p 193).

En conclusion, l'analyse globale s'appuie sur l'étude du processus d'élaboration des modèles en s'inspirant du processus de construction des connaissances (Martinand, 1994). Ainsi, le paradigme épistémique est d'abord en partie caractérisé par le contexte dans lequel se déroule cette recherche en génie mécanique. Ensuite, nous analysons la construction du modèle à partir des objectifs, et les méthodologies d'élaboration, de validation et d'extrapolation des résultats.

Le processus étant caractérisé, une analyse catégorielle et thématique de contenu, portant sur certaines caractéristiques des modèles est maintenant proposée.

7.5 CARACTERISATION DES MODELES ELABORES

Les critères pris en compte pour la caractérisation des modèles sont les différents types de modélisation, la caractérisation de la réduction opératoire et la visée scientifique.

7.5.1 LE TYPE DE MODELISATION

Le type de modélisation peut être déterminé à partir du domaine d'application, industriel ou scientifique, ou/et en fonction des ressources mobilisées.

Nous rappelons ici l'opposition présentée par Martinand (1994) entre un modèle théorique, relevant de la connaissance, et un modèle empirique, relevant de la description. Il semblerait que l'auteur de la thèse en génie mécanique différencie modélisations théorique, empirique (Landon, 2003, p 49) et expérimentale (Ibid., pp 57, 192, 196).

- Dans le cas des modèles théoriques, Landon (2003, p 105) différencie les modèles analytiques ou mécanistes, qui mobilisent des ressources différentes. Les modèles analytiques sont relatifs aux théories de coupe et de la plasticité. Les modèles mécanistes s'appuient sur la proportionnalité entre les pressions spécifiques de coupe et les conditions opératoires.
- Ce chercheur en génie mécanique utilise le terme modélisation empirique lorsqu'il se référe aux modèles proposés par d'autres auteurs, modèles qui ne permettent pas une application industrielle. La modélisation expérimentale est proposée par Landon (2003) tout au long de son travail même s'il semble utiliser indifféremment les termes modélisation expérimentale et pragmatique. La modélisation expérimentale est caractérisée principalement par deux aspects : son applicabilité industrielle (caractérisation rapide, coût bas) ; une approche globale des défauts, grâce au triplet machine-outil-pièce. Dans le cas du modèle expérimental, les ressources mobilisées sont d'abord les résultats d'un modèle analytique permettant de caractériser le défaut en fonction de positionnement de l'outil. Ensuite, un autre modèle est construit, par une approche globale, permettant de déterminer le défaut en fonction des conditions d'usinage pour une machine déterminée.

7.5.2 LA REDUCTION OPERATOIRE

Il est intéressant d'étudier la réduction opératoire qui caractérise les modèles élaborés par la recherche en génie mécanique. D'abord cette réduction est affichée en tant qu'objectif nécessaire pour répondre à une problématique industrielle. Ensuite, elle s'inspire d'une approche globale qui prend en compte les défauts sur la pièce pour les corriger au fur et à mesure.

Dans le chapitre de problématique de recherche, Landon (2003) explicite comment s'opère cette réduction opératoire :

- Les modèles empiriques existants sont imprécis et leur application est trop onéreuse pour envisager une application industrielle.

- L'auteur propose d'élargir la démarche de caractérisation d'une erreur (géométrique) à toutes les erreurs (Ibid., pp 33- 35).
- Cette caractérisation réduit l'ensemble des études de chaque erreur dans chaque élément de la machine par une approche globale qui étudie l'ensemble machine-outil-pièce.
- La liaison s'effectue entre le résultat final : les défauts sur la pièce et les conditions opératoires afin de compenser les défauts (au lieu de les éviter).

7.5.3 LA VISEE SCIENTIFIQUE

Trois aspects caractérisent la visée scientifique de ce modèle :

1. La précision sémantique

Nous avons noté quelques exemples, concernant le terme « évolution temporelle de la broche » au lieu de « dilatation de la broche ». La modélisation est qualifiée d'« expérimentale » afin de délimiter le champ d'application de la procédure proposée de caractérisation rapide des défauts de la broche.

2. L'ambition d'élargir le modèle expérimental

Cette ambition est déclarée dans les perspectives de la thèse (Landon, 2003, pp 193-196). L'auteur y annonce des objectifs : atteindre une application dans le secteur industriel par une simulation informatique. Un élargissement de l'étude est proposé : elle abordera le domaine de l'usinage de formes complexes en 4 et 5 axes ainsi que l'analyse du comportement du triplet machine-outil-matériau en usinage en grande vitesse. Un approfondissement de cette étude est envisagé par la prise en compte de l'aspect évolutif des défauts lors de l'usinage d'une série de pièces.

3. Les critères de scientificité :

Nous avons identifié aussi la prise en compte de quelques critères de scientificité, que nous avons énoncés précédemment, concernant la validation des modèles et l'extrapolation des résultats.

Au delà de ces critères, on peut noter la présence d'éléments d'un discours scientifique, par exemple :

> « Dans un premier temps, les interrogations subsistent sur le sens physique de cette évolution et nous empêchent de considérer le phénomène comme reproductible sur d'autres machines » (Ibid., p 68)

Dans cet extrait un critère limite un résultat de la recherche en génie mécanique.

Un autre exemple concerne l'approche globale qui ne permet pas d'effectuer des hypothèses simplificatrices (comme c'était le cas d'autres modèles). Cela est considéré comme un critère de qualité pour la modélisation proposée par l'auteur (Ibid., p 13) ;

En conclusion, l'étude de la modélisation proposée dans le champ du génie mécanique a porté sur la caractérisation des modèles et sur les processus de modélisation. C'est ainsi que l'on peut caractériser le type de modélisation visée par la recherche en génie mécanique par les termes : « expérimentale » ou « pragmatique ». La réduction opératoire a été analysée. Elle conduit à une approche globale qui permet de dégager la fonction technique de caractérisation rapide d'une MOCN. La visée scientifique a été étudiée par trois critères, le résultat le plus important étant l'élargissement du champ d'application à d'autres domaines, et la profondeur (par la prise en compte de l'aspect évolutif), sans oublier les aspects d'applications industrielles, énoncées dans la recherche en mécanique et qui apporte un caractère pragmatique.

Cette partie de notre travail avait pour objectif d'étudier la modélisation effectuée dans l'élaboration des concepts techniques en génie mécanique. Nous avons analysé, dans le champ professionnel et de la recherche, l'origine de la problématique qui a impulsé la thèse étudiée en génie mécanique. Le caractère pragmatique a été identifié tout au long des résultats. L'enjeu maintenant, consiste à identifier dans la construction théorique résultante de cette modélisation un concept technique. Ce sera l'objet du paragraphe suivant.

7.5.4 LA MODELISATION EFFECTUEE CORRESPOND A UN CONCEPT TECHNIQUE ?

Les liens théoriques entre le modèle et le concept technique ont été établis dans le cadre conceptuel[99]. Ils concernent la visée pragmatique et l'élargissement du domaine de validité. Cela a permis de poser une des hypothèses de la présente recherche : des concepts techniques sont élaborés par modélisation à partir des concepts pragmatiques. Nous avons vérifié l'origine pragmatique de la problématique, et analysé le processus de modélisation. Ce chapitre a pour objectif de valider si le « savoir » élaboré correspond à un concept technique. Compte tenu de la quantité d'analyses présentées dans ce chapitre, et de la relation étroite que nous avons établie théoriquement entre modèle et concept technique, nous limiterons nos références aux résultats déjà exposés.

[99] Voir le paragraphe 3.2.1

La première caractéristique d'un concept technique est sa visée pragmatique, permettant de le différencier d'un concept scientifique (Vidal-Gomel & Rogalski, 2007, p 61). La visée pragmatique de la modélisation de l'évolution temporelle de la broche est atteinte :

- D'un point de vue global, le paradigme épistémique sous-jacent permet de lier la thèse en génie mécanique avec une approche de type recherche appliquée et industrielle, dont l'objectif majeur est affiché tout au long du document : il s'agit de trouver une application industrielle au modèle.
- Cette visée pragmatique fonctionne comme critère de validité ou de refus d'autres modèles proposés dans la littérature.

La deuxième caractéristique d'un concept technique est établie en opposition aux concepts pragmatiques. Elle s'appuie sur le rapport validité-efficacité-pertinence (Ibid., p 61). Prenons l'exemple développé tout au long de cette partie :

- Dans le contexte professionnel, la dilatation de la broche entre dans la classe de situations de dysfonctionnement durant l'usinage. L'opérateur l'identifie et compense par une régulation dans l'axe Z. La régulation effectuée prend en compte la machine, l'outil et la matière (Landon, 2003°. La régulation est dépendante de l'espace et du temps de l'activité. Ce concept est pertinent et efficace pour l'action (Vidal-Gomel & Rogalski, 2007, p 62)
- Dans le contexte de la recherche en génie mécanique, la dilatation de la broche est une problématique des industriels qui veulent caractériser la machine la moins capable d'effectuer un usinage déterminé. La modélisation effectuée par le chercheur prend aussi en compte la machine, l'outil et la matière. Cette modélisation permet de caractériser les machines en général (élargissement de la validité) et de compenser ainsi les défauts dans l'usinage.

En conclusion, la modélisation effectuée, même si elle est limitée à certaines applications, peut être qualifiée de concept technique :

- Par sa visée pragmatique.
- Parce qu'elle permet d'expliquer un phénomène (lien entre dilatation de la broche et les défauts générés sur la pièce) que le concept pragmatique correspondant ne permet pas seul d'expliquer (puisqu'il est limité à l'action), même si les opérateurs sur machine sont capables de compenser les défauts qu'il engendre.

DISCUSSION DES RESULTATS ET APPLICATION POUR LA SUITE

Dans ce chapitre, l'étude et la caractérisation d'un concept technique ont été réalisées. Pour cela, nous avons mobilisé l'hypothèse de départ qui concerne l'évolution d'un concept pragmatique vers un concept technique, par une modélisation.

Une partie des résultats (7.3.1) s'intéresse à l'origine de ce concept, pragmatique. Les difficultés initiales dans la caractérisation de l'origine de ce phénomène ont pu être expliquées d'un point de vue théorique. Le raisonnement s'appuie sur le possible statut de référent empirique de ce concept, sans négliger pour autant la possibilité d'être le résultat d'élaborations conceptuelles antérieures (Martinand, 1994). Cependant, l'identification par l'analyse du travail, des indicateurs, des stratégies et des règles d'action de l'opérateur, a permis de déterminer son origine pragmatique.

Après avoir déterminé les conditions théoriques pour l'étude de la modélisation, l'analyse de la thèse en génie mécanique est effectuée.
Le niveau global permet de comprendre les enjeux épistémiques, ainsi que les différentes phases d'élaboration d'un modèle. Afin d'affiner les résultats, deux modèles élaborés dans la même thèse en génie mécanique sont analysés. La visée pragmatique est identifiée et trois phases dans l'élaboration du modèle sont caractérisées :
- La création est réalisée par une réduction opératoire permettant d'atteindre la visée pragmatique d'application industrielle.
- La validation consiste à tester le modèle dans d'autres situations de la même classe (on change la machine, on change les conditions d'usinage) par des essais.
- L'extrapolation s'appuie à la fois sur la phase de validation et sur des hypothèses d'ordre théorique.

Le modèle a été caractérisé. Il est expérimental et pragmatique. Quelques critères ont été posés : la réduction opératoire et la visée scientifique.
Dans la dernière partie, le résultat de la modélisation comme aboutissant à un concept technique a été établi par la mise en perspective d'un concept scientifique et d'un concept pragmatique.

Nous avons choisi d'étudier deux situations importantes dans la situation de formation proposée aux étudiants : la mise en fonctionnement et le réglage d'une machine, et la dilatation de la broche. Nous allons poursuivre l'étude de la transposition vers ces situations. L'étape suivante portera sur les situations de formation, dans le cas du réglage de MOCN, ou des concepts techniques et dans le cas de la dilatation de la broche. Notre intérêt porte aussi sur les modalités de mise en œuvre du simulateur. Dans ce sens, cet instrument peut être considéré comme porteur de la transposition didactique externe.

Chapitre 8 :
Etude du curriculum et transposition didactique en dehors de la classe

CHAPITRE 8

ETUDE DU CURRICULUM ET TRANSPOSITION DIDACTIQUE EN DEHORS DE LA CLASSE

8.1 Analyse de l'élaboration du curriculum
8.2 Etude de la transposition didactique en dehors de la classe

Dans ce chapitre l'intérêt est porté d'abord, dans une première partie, à l'élaboration d'une partie du curriculum, dans le contexte spécifique de la formation technologique universitaire. Dans la deuxième partie, est analysée la transposition didactique en dehors de la classe de deux situations ciblées : la mise en fonctionnement et le réglage d'une MOCN, et l'évolution temporelle de la broche, par le biais d'un simulateur informatique.

L'objectif de ce chapitre est donc d'analyser les processus d'élaboration du curriculum et de transposition didactique en dehors de la classe dans un contexte universitaire technologique supérieur.

L'élaboration du curriculum dans le cas des formations technologiques supérieures et la transposition didactique en dehors de la classe de deux situations, par le biais d'un simulateur informatique font l'objet de cette partie.

Dans la problématisation générale de la recherche, deux questions relatives au curriculum ont été posées, en relation avec l'identification du registre de technicité visée par la formation et les éléments du contexte professionnel mobilisés pour la formation. Pour répondre à ces questions, l'étude du curriculum s'appuie sur un ancrage théorique et méthodologique, et sur la discussion de résultats relatifs à l'analyse du syllabus et des entretiens avec des enseignants de la formation visée.

Dans l'approche instrumentale explicitée, le simulateur informatique constitue un instrument de médiation entre le sujet et l'objet de savoir[100]. L'analyse de cet instrument dans deux situations constitue la perspective adoptée : le réglage de la machine et la situation relative au concept technique (élaboré en recherche) de dilatation de la broche. La figure suivante permet de clarifier le processus d'imbrication des résultats acquis et leur investissement dans la partie présente :

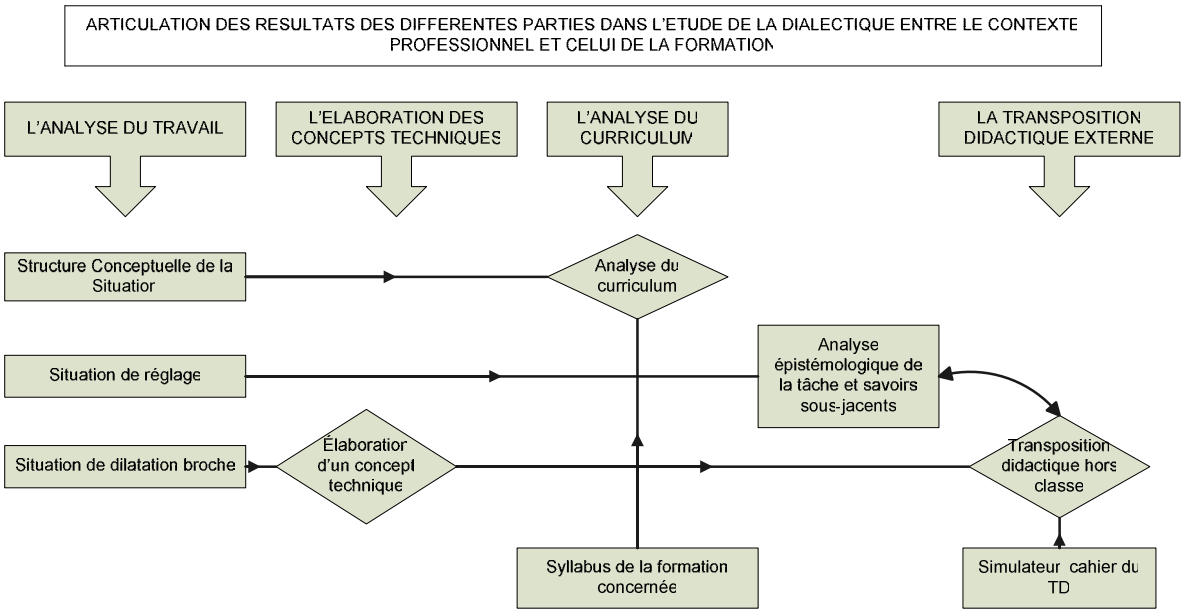

ARTICULATION DES RESULTATS DES DIFFERENTES PARTIES DANS L'ETUDE DE LA DIALECTIQUE ENTRE LE CONTEXTE PROFESSIONNEL ET CELUI DE LA FORMATION
L'ANALYSE DU TRAVAIL
L'ELABORATION DES CONCEPTS TECHNIQUES
L'ANALYSE DU CURRICULUM
LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE EXTERNE
Structure Conceptuelle de la Situatior
Analyse du curriculum
Situation de réglage
Analyse épistémologique de la tâche et savoirs sous-jacents
Situation de dilatation broche
Élaboratior d'un concept technique
Transposition didactique hors classe
Syllabus de la formation concernée
Simulateur cahier du TD

Figure 16 : Articulation des résultats de recherche

[100] Le statut du simulateur dans la situation de formation : comme instrument de médiation entre l'objet de savoir et le sujet, ou comme objet de savoir en lui-même parce que « porteur » de la situation de formation. Son statut sera analysé dans le chapitre d'étude du fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur.

Ainsi en étudiant le curriculum en relation avec la transposition didactique en dehors de la classe, nous nous limitons dans cette partie au curriculum prescrit (au sens de Perrenoud, 1994, 1995, 1996, 1998). Cet auteur énonce que :

> « La transformation des savoirs et des pratiques en programmes scolaires, qu'on peut aussi appeler curriculum formel ou prescrit. C'est ce que Chevallard a nommé la transposition didactique en dehors de la classe » (Perrenoud, 1998).

8.1 ANALYSE DE L'ELABORATION DU CURRICULUM

L'analyse du curriculum a pour objectif de poursuive l'étude de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation. Dans l'étude de l'élaboration du curriculum prescrit, nous nous limitons à l'analyse du syllabus de la formation.

8.1.1 ANCRAGE THEORIQUE

Le curriculum est considéré comme un ensemble qui intègre les objectifs de la formation, les directives indiquant les modalités de travail didactique, les contenus et les moyens permettant l'évaluation (Calmettes, 1996).

En relation avec nos objectifs, nous avons articulé dans le cadre conceptuel la notion de registre de technicité (Martinand, 1994) et les objectifs d'une formation technologique supérieure (Cartonnet, 2000). Par rapport aux contenus d'enseignement, la problématique a permis de poser la question sur les éléments du contexte professionnel mobilisés par la formation.

Du point de vue théorique, la question de la définition de contenus dans la formation des adultes a été pointée par Samurçay et Rogalski (1994) qui ont établi une différence avec la formation initiale : la pertinence dans la formation continue est relative à la pratique professionnelle efficace. Dans le cas de la formation initiale des adultes, la présente recherche a permis d'établir cette pertinence en référence à une pratique professionnelle, définie à partir de l'organisation cognitive de la tâche ciblée par la formation et correspondant à celle d'un opérateur expert.

Le cadre conceptuel a aussi permis de relever une spécificité dans la formation technologique supérieure généralisable à la formation universitaire : *les enseignants sont aussi les responsables de l'élaboration du curriculum*. Les enseignants-chercheurs construisent le syllabus, connaissent bien les pratiques sociales (professionnelles dans ce cas) de référence et sont capables d'élaborer des concepts techniques.

8.1.2 ANCRAGE METHODOLOGIQUE

Pour identifier la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation dans l'élaboration d'une partie du curriculum, nous disposons de deux éléments de natures différentes : la Structure Conceptuelle de la Situation (Pastré, 1992) et le syllabus de la formation. La comparaison entre ces deux éléments semble difficile mais elle peut être réalisée grâce à des données recueillies par entretien avec un intermédiaire, un médiateur, les enseignants chercheurs, chargés de l'élaboration du syllabus, et qui connaissent le contexte professionnel.

Cette réflexion est à l'origine du recueil et de l'exploitation des données permettant de répondre aux questions de recherche dans cette partie.
La figure 17 permet d'illustrer les différents types de données recueillies et présente les catégories de résultats, explicitées par la suite :

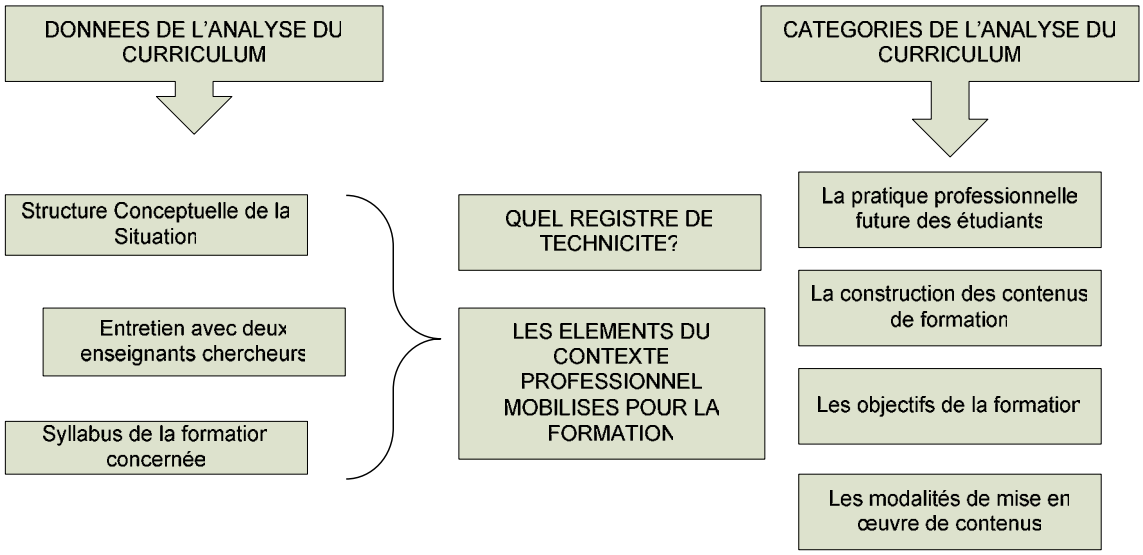

DONNEES DE L'ANALYSE DU CURRICULUM
CATEGORIES DE L'ANALYSE DU CURRICULUM
Structure Conceptuelle de la Situation
Entretien avec deux enseignants chercheurs
Syllabus de la formation concernée
QUEL REGISTRE DE TECHNICITE?
LES ELEMENTS DU CONTEXTE PROFESSIONNEL MOBILISES POUR LA FORMATION
La pratique professionnelle future des étudiants
La construction des contenus de formation
Les objectifs de la formation
Les modalités de mise en œuvre de contenus

Figure 17 : Recueil de données et catégories d'analyse pour l'étude du curriculum

8.1.2.1 Les catégories d'analyse

Nous avons présenté les questions de recherche qui guident notre analyse. Celles-ci sont à l'origine des catégories présentées dans la figure. Les deux premières catégories s'intéressent à la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation. Nous avons interrogé les enseignants sur la pratique professionnelle future des étudiants et sa prise en compte dans la construction des contenus de formation. La troisième catégorie porte sur les objectifs visés par

la formation. Enfin, la quatrième catégorie permet d'établir un passage entre le curriculum prescrit et le réalisé.

8.1.2.2 Les données

Nous avons ainsi trois types de données :

- La structure conceptuelle de la situation d'usinage.

Les deux concepts organisateurs qui la composent (la qualité requise de la pièce et le positionnement initial de la pièces), les indicateurs (comme l'état de la surface de la pièce usinée et le bruit de la machine) et les classes de situations (usinage d'une pièce unitaire, série de pièces, situations de dysfonctionnement) ont été présentés dans la partie de résultats correspondant à l'analyse du travail (voir chapitre 6).

- Des entretiens avec deux enseignants chercheurs

Nous avons effectué deux entretiens avec deux enseignants-chercheurs. La construction de ces entretiens porte sur les catégories thématiques illustrées figure 17. Nous avons d'abord effectué un entretien avec P1, enseignant chercheur et chargé de cours avec simulateur, avec un rôle institutionnel très fort dans l'élaboration de curriculum. Afin de compléter les résultats, un deuxième entretien a été mené auprès de P2, enseignant chercheur et chargé de cours avec le simulateur[101]. Ces entretiens s'intéressent aux moyens et aux modalités de travail sur machine.

- Le syllabus de la formation

Le syllabus de la formation est le programme qui organise les cours. Chaque cours possède un code, un intitulé et les crédits ECTS correspondant. Il est structuré en sept parties : le diplôme et les parcours, les mots clés, les objectifs en termes de savoir et de savoir-faire, le contenu, le format et volumes horaires, les modalités de contrôle de connaissances et la bibliographie de base.

8.1.3 DISCUSSION DES RESULTATS

Nous nous intéressons au choix et à la constitution des contenus de formation. Dans le contexte universitaire technologique supérieure, les enseignants ont une certaine liberté dans le choix de contenus de formation. La demande d'habilitation est censée servir de référence pour la formation mais P1 (ETCP1-17)[102] qualifie ce document de « souvent très court » et

[101] Ces entretiens : ETPCP1 et ETPCP2 ont été exploités partiellement dans l'étude exploratoire et dans la partie de résultats concernant l'élaboration des concepts techniques (pour P2).
[102] Les entretiens sont disponibles dans l'annexe 1, entretiens 3 et 4

précise que selon lui sa fonction est plutôt à mettre en relation avec les coûts générés par étudiant.

8.1.3.1 La pratique professionnelle future des étudiants

Cette catégorie tente d'éclairer la différence entre la situation proposée aux étudiants en formation et la pratique professionnelle future des étudiants. Dans cette catégorie, la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation est questionnée ; deux aspects sont abordés :

- la relation entre les contenus de formation et le contexte de travail dans les entreprises,
- les relations entre les contenus de formation et la pratique professionnelle future des étudiants.

Le rapport entre les contenus de formation et le contexte de travail dans les entreprises

On peut signaler une différence constante entre les discours des enseignants-chercheurs. P1 exprime très fréquemment pendant l'entretien la relation entre le contexte industriel et de la formation, alors que chez P2, ce rapport est presque absent.

Un premier extrait dans l'entretien avec P1, permet de montrer une modalité dans le dialogue entre l'entreprise et l'université, qui a parfois une incidence sur le choix des contenus de formation :

> (ETCP1-21) : « Parce que, quand on envoie les étudiants en stage, on voit ce qu'on leur demande, et en discutant avec les industriels on voit un petit peu de quoi ils ont besoin […]. En règle générale à chaque fois qu'on termine une soutenance de stage, on demande aux industriels ce qu'ils souhaitent que nous améliorons dans la formation des étudiants […]».

Dans le discours de P2, ce dialogue est absent, et on peut plutôt mettre en évidence une référence constante à son travail de recherche. P2 est un enseignant chercheur novice et tout au long de l'entretien, il fait référence à sa recherche de thèse (ETCP2-4, voir aussi ETCP2-18).

Le rapport entre les contenus de formation et le contexte de travail en relation à la pratique professionnelle future des étudiants

On repère dans le discours de P1 certains éléments sur la future pratique professionnelle des étudiants. Dans un extrait (ETCP-19), P1 reconnaît que les étudiants ne vont pas exercer comme des programmateurs ou des régleurs dans leurs pratiques professionnelles futures. Il considère cependant indispensable ce type de formation avec « une vue plus large ». On signale aussi l'importance donnée à tout moment au futur exercice professionnel.

P2 fait moins état que P1 des références au contexte de travail (ETCP2-28) mais lorsque la question de la pratique professionnelle des étudiants après leur formation est posée de façon explicite (ETCP2-54), P2 répond en cohérence avec P1. En effet, les discours de P1 et P2 convergent sur le but d'une formation initiale et l'existence de « décalages nécessaires » entre la formation et la pratique professionnelle.

Trois aspects importants peuvent être relevés :

- Les discours des formateurs rejoignent le discours des acteurs de l'entreprise, dans la réflexion sur le *transfert des connaissances* :

En effet, les acteurs en entreprise pointent l'importance pour un programmateur ou concepteur d'avoir de l'expérience dans l'usinage des pièces, ou de « recul » pour comprendre les problèmes dans la gestion et programmation des projets. Cela permet d'apporter de la pertinence au projet formatif des enseignants dans le contexte universitaire technologique.

- Les discours des formateurs sont en relation avec *les objectifs de la formation* énoncés par Cartonnet (2006) :

La relation est ainsi établie entre la formation aux capacités de particularisation et de généralisation : particularisation parce que les étudiants apprennent à travailler avec une machine déterminée (celle qui est dans l'atelier) et généralisation, parce que cela peut leur permettre d'avoir une « vue plus large », selon P1.

- *En relation au syllabus*, une seule référence apparaît dans les discours des enseignants :

Dans le module L3PCI67MOS, dont le responsable est P1, un des objectifs est de « savoir mettre en œuvre une machine CN ». L'énonciation du syllabus est très vague et ne permet pas de rendre compte des objectifs précis de la formation.

8.1.3.2 La construction des contenus de formation

L'intérêt de ce paragraphe est d'éclairer l'origine des problèmes posés aux étudiants dans la formation.

A propos du type de problème choisi pour former, P1 demande à ses étudiants de se positionner comme des professionnels (programmateur ou régleur) en fonction de la tâche requise :

> (ETCP1-7) « Tout ça je l'explique aux étudiants, je leur dis : bon, maintenant j'ai ma pièce quand j'avais la casquette de programmateur j'ai donné une origine programme à un endroit, maintenant que j'ai une casquette régleur de machine, il faut que j'arrive à expliquer à la machine où se trouve l'origine programme par rapport à l'origine de la machine (origine mesure) […]».

Sur la question explicite de choix de contenus, P2 répond

(ETCP2-56) : « Moi j'ai essayé d'être progressivement global, […] j'essaie de leur dire que tout pouvait intervenir, y compris même l'opérateur de la machine, qui, lui, pouvait avoir une intervention, une influence sur le processus et sur la qualité de la pièce finale ».

On remarque à travers les extraits de ces entretiens l'importance dans le choix de contenus pour la formation de ce « qui est faisable » avec les contraintes liées au milieu de la formation : temps, organisation de l'espace, conditions de sécurité. Cependant, le choix de contenus est toujours en relation directe avec une pratique professionnelle et éventuellement à d'autres niveaux de qualification que celui visé par la formation.

8.1.3.3 Les objectifs de la formation

Par rapport aux objectifs de formation, et en relation au lien formation/contexte de travail, le discours de P1 est le suivant :

(ETCP-19) « […] Donc il est indispensable que la personne qui sort de chez nous en fabrication ait une vue relativement large, [… pour cela], on est quand même obligé d'avoir mis un peu les mains dans le métier, pour se rendre compte des difficultés. […] C'est pas la peine avec les métiers qu'on demande maintenant qu'ils soient très performants pour sortir un programme pièce parce que c'est assez rare qu'on les appelle pour faire un programme pièce, ils vont appeler quand il y a un problème. […] Et c'est là qu'il faut que l'étudiant, sorte avec suffisamment de choses pour pouvoir se sortir de ce problème».

La différence entre une formation initiale et une formation continue est mise en évidence. La formation initiale dans ce cas cherche à former à des compétences plus diverses qu'une formation continue centrée sur des éléments d'une pratique professionnelle ciblée.

Par rapport à la conception de la formation, visée par P1, dans laquelle les étudiants doivent avoir acquis des compétences dans une perspective large, nous retrouvons P2 :

(ETCP2-58) : « Certainement ils vont pas les faire eux directement, par contre ils savent que quand on doit intervenir sur tel ou tel paramètre, pour résoudre tel ou tel problème, alors je leur fais faire les choix, pour leur montrer les différences. […] L'idée c'est de leur montrer qu'on peut agir sur le processus et comment on fait, après ils ne le feront certainement pas, pas directement, par contre si dans un projet, il y a des problèmes au niveau d'usinage, pour tel problème ils sauront comment travailler ».

P2 indique quels sont, selon lui, les objectifs des séances de formation (ETCP2-20).

Les extraits de discours en relation avec les objectifs de la formation, vont permettre d'identifier le registre de technicité visé dans ce cas par les enseignants.

Nous rappelons qu'il y a quatre registres de technicités (Martinand, 1994) : participation, maîtrise, lecture et transformation. Le registre envisagé par la formation initiale était selon Cartonnet (2006) celui de la participation mais l'aide d'un expert dans le domaine permet aux étudiants de passer rapidement au registre de maîtrise.

Mais quel est le registre visé par les enseignants ?

- Le syllabus apporte des informations vagues sur ce point. Il énonce l'objectif général « savoir mettre en œuvre une machine CN ».

- Le registre de technicité de participation correspond «à la capacité à s'immerger dans la pratique en y tenant un rôle non autonome, mais actif » (Martinand, 1994, p 139).

Les différents extraits des entretiens permettent de penser que le registre de technicité visé est celui de la participation. Celui-ci est justifié, selon les enseignants, par le fait que l'usinage ne constitue pas la pratique professionnelle future des étudiants.
Le registre de technicité souhaité, celui que les enseignants envisagent pour les étudiants pour leur pratique professionnelle future, n'est pas selon leur discours celui de la maîtrise, celui qui correspond à la «capacité d'intervention autonome » (Martinand, 1994, p 139), mais plutôt celui de la lecture. Les étudiants n'auront sûrement pas à être des opérateurs d'usinage experts, ni à être des bons programmateurs. Ils auront cependant à identifier, dans les activités professionnelles des opérateurs d'usinage et des programmateurs, les différentes composantes de leurs pratiques afin de pouvoir intervenir en cas de problème.

8.1.3.4 La mise en œuvre des contenus

Pour P1, une approche pédagogique est privilégiée. C'est celle qui va du concret au général et qui essaie ainsi d'extraire les fonctionnalités principales d'une machine afin de pouvoir travailler avec d'autres types de machines

> (ETCP1-5) : « J'ai trouvé que ça se passait mieux avec les étudiants parce qu'on posait le problème, comment je peux faire ça et à partir du moment où je vois qu'est ce que je peux avoir comme solution, cette solution-là, on l'extrapole à d'autres types de machines».

Par rapport à la généralisation de procédés à partir d'un cas particulier sur une machine, méthodologie de formation souvent explicitée par les enseignants, P1 et P2 partagent l'idée que le concept reste présent mais P1 opère une mise en œuvre différente de celle de P2 dans la classe. P1 considère que l'on peut « extrapoler la solution à d'autres machines » (ETCP1-5) ; P2 considère qu'il est nécessaire d'utiliser des machines différentes pour apprendre le réglage :

> (ETCP2-22) « […] si on fait le réglage sur une machine de type fraisage, dans la séance suivante il faut qu'ils le fassent sur une machine de type tournage. Parce que derrière le réglage il y a exactement la même idée, mais après le réglage se fait de façon un petit peu différente ».

Dans les deux cas, la particularisation, qui permettrait de rester dans un premier moment dans le registre de technicité de la participation, est mise en relation avec la généralisation, qui permettrait de passer à un registre de technicité de lecture.

En conclusion, cette partie permet d'éclairer un positionnement soutenu depuis le cadre conceptuel, relatif à l'enseignement d'une pratique professionnelle qui n'est pas celle visée directement par le futur des étudiants en formation.
Les rapports entre le contexte professionnel et celui de la formation dans l'élaboration des contenus ont été mis en évidence dans l'élaboration et la proposition des situations d'enseignement.
En relation avec le registre de technicité visé par les formateurs, un registre de participation est identifié dans les discours des enseignants comme étant visé par la formation avec des machines outils à commande numérique, en situation pratique. Ce résultat est en concordance avec la réflexion théorique de Cartonnet (2006). En revanche, le fait que l'usinage et la programmation ne correspondent pas aux pratiques professionnelles futures des étudiants, provoque un changement dans le registre de technicité à acquérir. Les enseignants « complètent » le registre de technicité de participation, envisagé pour les situations pratiques avec MOCN, par des éléments d'un registre de technicité de lecture, permettant aux futurs professionnels d' « identifier les différentes composantes caractéristiques » des pratiques des usineurs et des programmateurs. Cela leur permettra de gérer les problèmes, ce qui constitue leur vraie pratique professionnelle future.

Il semble maintenant intéressant d'analyser le registre de technicité mis en œuvre dans la situation de formation. Pour cela, l'étude des situations avec deux groupes d'étudiants différentiés : des « expérimentés » en usinage (nous spécifierons leurs caractéristiques) et des « apprentis » constitue l'option privilégiée. Celle-ci fera l'objet du chapitre 10 des résultats.

La partie suivante, s'intéresse à la transposition didactique en dehors de la classe. En effet, dans l'approche didactique de la présente recherche, et pour analyser le fonctionnement des systèmes didactiques, avant de « rentrer dans la classe », il est indispensable de comprendre comment les situations, les savoirs, sont présentés dans la situation de formation.

8.2 ETUDE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE EN DEHORS DE LA CLASSE

L'analyse de la transposition didactique en dehors de la classe est réalisée à partir de l'étude des savoirs mis en jeu et des outils employés en formation dans les situations mettant en jeu le réglage initial de la machine et le phénomène de dilatation de la broche. Rappelons que ces deux items ont été étudiés en contexte professionnel : le réglage de la machine a été associé à une structure conceptuelle de la situation et le phénomène de dilatation a donné lieu à des réflexions concernant la modélisation et les concepts techniques.

8.2.1 METHODOLOGIE D'ANALYSE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE EN DEHORS DE LA CLASSE

D'un point de vue méthodologique, la transposition didactique en dehors de la classe est étudiée à partir d'un ancrage théorique et de l'analyse et du recueil de données.

8.2.1.1 Ancrage théorique

Dans la partie théorique de la présente recherche a été abordée la transposition didactique en dehors de la classe à partir des spécificités du contexte de la formation technologique supérieure. L'analyse du processus de transposition en dehors de la classe dans le cas de la situation de mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN est abordée par les savoirs sous-jacents à la tâche et par l'instrument de médiation : le simulateur. L'analyse du processus de transposition en dehors de la classe dans le cas du concept technique relatif à la dilatation de la broche est abordé directement par l'instrument de médiation : le simulateur.

L'ancrage méthodologie suivant permet d'expliciter comment vont s'opérer ces analyses.

8.2.1.2 Ancrage méthodologique

La méthodologie d'analyse de la transposition didactique en dehors de la classe dans *le cas du réglage de la machine* s'organise en deux temps.

Dans un premier temps l'objectif est de comprendre les savoirs et les notions sous-jacentes à la tâche proposée aux étudiants. Or, le flou dans l'explicitation des notions mobilisées par le syllabus a été relevé. L'analyse de ces savoirs est donc effectuée à partir d'une étude sur le réglage d'une MOCN dans différents contextes. La description des notions autour de cette tâche s'effectue ainsi à partir de trois sources :

1. L'étude du contexte professionnel à travers le discours et l'observation d'un opérateur expert en MOCN qui a déjà été formalisée dans le chapitre 6 « résultats de l'analyse du travail ».
2. L'étude du contexte de la formation technologique supérieure, par des entretiens avec des enseignants chargés de la formation avec simulateur.
3. Les documents techniques sur l'utilisation des MOCN (en contexte professionnel et de la formation).

Enfin, une discussion autour des notions relatives à la tâche est présentée en prenant appui sur ces différentes sources.

Dans un deuxième temps, la modélisation de ces savoirs est étudiée à partir de l'analyse des tâches proposées aux étudiants, par le cahier de TD et par l'analyse du simulateur.
Le cahier de Travaux Dirigés (TD) sert de guide aux étudiants dans la séance de formation avec simulateur. Il est élaboré par P1. Il permet l'analyse des différentes actions proposées sur le simulateur pour réussir la tâche proposée. L'analyse de ce cahier de TD a été effectuée dans l'étude exploratoire, afin de déterminer le type de tâche proposée aux étudiants (résolution problème) dans la séance de formation. L'objectif maintenant est d'identifier les différentes actions possibles.

L'évolution temporelle de la broche constitue le deuxième objet d'analyse de la transposition didactique en dehors de la classe.

8.2.2 AUTOUR DU REGLAGE DE LA MACHINE

8.2.2.1 Analyse de la tâche et savoirs sous-jacents

À partir de l'analyse de la procédure de réglage d'une machine outil à commande numérique réalisée en utilisant les différentes sources mentionnées, nous avons identifié neuf notions et deux procédures. Ces notions ne partagent pas toutes le même statut dans la procédure de réglage d'une MOCN et l'intérêt consiste maintenant à expliciter leur rôle dans l'activité. Nous portons ainsi notre attention sur :

- La notion de réglage
- Les notions préalables : le langage de programmation CN et la norme ISO 841
- Les différentes origines : machine, mesure, programme et pièce
- Les vecteurs PREF et DEC
- Les procédures POM et PREF

La notion de réglage

La notion de réglage est centrale puisqu'elle est présentée comme l'objectif principal de la procédure.
Dans **l'analyse du contexte professionnel**, nous avons vu la relation entre cette procédure et les concepts organisateurs de l'activité. Pour définir cette procédure, l'opérateur sur machine, explicite les différents moments de mise en œuvre (ET0U-4) :

I. Allumer la machine.

II. Faire les origines, en utilisant des lignes de programme CN (différentes fonctions G0, G52, etc.). Il se réfère à la Prise d'Origine Mesure (POM).
III. Faire l'origine pièce, si elle n'est pas encore faite. Il se réfère au calcul du PREF (prise de référence), à l'aide d'un palpeur.

Le choix des origines s'effectue en fonction de la pièce à usiner (concept organisateur « positionnement initial de la pièce »). L'opérateur insiste sur le fait qu'une démonstration en « situation » parait pertinente pour expliquer ces notions (ETOU-77) – le discours n'est pas suffisant.

Le principe de mise en fonctionnement reste identique, quelle que soit la machine, même s'il y a les langages de programmation différents.

Deux aspects sont particulièrement à relever :

- l'opérateur utilise la notion d'origine machine (OM), discutée par la suite,
- l'opérateur développe l'explication de la procédure pour repérer l'origine machine.

P1, **en contexte de formation**, explicite la définition de réglage de MOCN selon trois axes :

1. La définition du réglage en tant qu'objectif :
   ETRP1-2-P1 : « En trois mots, situer le repère de l'utilisateur par rapport au repère de la machine »

2. La procédure explicitée avec des concepts théoriques
   ETRP1-4-P1 : « Je viens toucher un point physique. A partir de l'affichage et des coordonnées de ce point physique dans le repère de la machine, j'aurais donc la position de mon repère par rapport au sien donc je peux faire la matrice de passage pour faire le changement de repère. Ça te va ? »

3. L'opérationnalisation avec généralisation
   ETRP1-6-P1 : « Dans toutes les machines c'est à peu près pareil, tu mets un palpeur et tu viens palper ta référence, donc tu viens la toucher et à partir de ce qui s'affiche à l'écran sur le repère de la machine je connais la longueur de mon palpeur, je connais le déplacement parce que c'est affiché à l'écran, je peux faire la somme de deux pour avoir la position de ma référence dans l'origine de la machine, dans le repère de mesure de la machine… Ce n'est pas ça que tu attendais ? »

Remarque : L'opérateur expert, lors des deux entretiens, explicite les notions d'une manière procédurale, il est dans le registre pragmatique, permettant de caractériser le sujet capable (Rabardel, 2005), il « dit je peux avant de dire je sais » (Pastré, Mayen et Vergnaud, 2006, p 154) et il insiste sur une explication « in situ », devant la machine. P1 est d'abord dans le registre épistémique, caractérisant le sujet connaissant (Ibid., p 157), et son pouvoir d'explicitation lui permet de passer d'un registre épistémique à un registre pragmatique en fonction de son interlocuteur.

La dernière source explorée, à propos de la notion de réglage, est un polycopié de cours. Dans la catégorie **« documents techniques »**, y est défini la notion de réglage comme

positionnement relatif entre la pièce et l'outil « Le réglage des Machines Outils à Commande Numérique, bien qu'en apparence très simple pose des difficultés à de nombreux étudiants et opérateurs. Une démarche rigoureuse devrait conduire à une meilleure compréhension des problèmes et donc à un réglage aisé. […] étape de réglage de la machine qui consiste essentiellement à positionner la pièce et l'outil sur une machine. (Sidobre, 2005, p 9) »

En conclusion, la notion de réglage est abordée sous différents angles. Dans le contexte professionnel, le réglage est mobilisé dans un registre pragmatique, en tant que procédure. Dans le contexte de la formation, la notion est mobilisée en tant que concept théorique, et en s'appuyant sur des savoirs physiques et mathématiques : point physique, repère, matrice de changement de repère, etc. Enfin, cette notion est présentée dans un document technique (polycopies) en insistant sur les difficultés qu'elle présente.

Les notions préalables : Le langage de programmation CN et la norme ISO 841 (NF Z68-020)

Brièvement, nous présentons certaines notions préalables à la procédure de réglage.

Concernant le *langage de programmation* CN, la question du transfert a déjà été abordée dans la partie de l'analyse du travail. Le langage de programmation CN détermine les fonctions utilisées dans une machine, le principe de réglage restant le même :

> ETOU-79-OU : « Toujours pareil, on doit faire les origines machine, les origines pièce, longueur d'outil, diamètre d'outil où rayon, comme vous voulez et après bon c'est tout. Après c'est le langage qui change, parce que moi ma machine est NUM® et les machines qui sont ici sont SIEMENS®, bon c'est pas tout à fait le même langage, sinon, les principes sont tout à fait pareils ».

La *norme ISO 841 (NF Z68-020)* permet de comprendre le sens (positif ou négatif) des déplacements dans les différents axes d'une machine NUM®. Elle est présentée dans le manuel de l'opérateur de la manière suivante (p 1-6)

« Les axes X, Y et Z parallèles aux glissières de la machine forment un système de coordonnées cartésiennes rectangulaire de sens direct. Le système de coordonnées mesure les déplacements des outils par rapport à la pièce à usiner supposée fixe.
REMARQUE Lorsque la pièce est mobile, il peut être commode de repérer ses déplacements, on utilise alors des axes X', Y' et Z' orientés en sens inverse des axes X, Y et Z.
L'orientation des axes d'une machine dépend du type de machine et de la disposition des éléments qui la constituent. Pour une fraiseuse :
- l'axe Z est confondu avec l'axe de la broche principale lorsque celui-ci est parallèle à l'une des glissières,
- un déplacement dans le sens Z positif accroît la distance entre la pièce et l'outil,
- l'axe X est perpendiculaire à l'axe Z et correspond au plus grand déplacement,
- l'axe Y forme avec les axes X et Z un trièdre de sens direct.

Des axes rotatifs A, B, C définissent des rotations autour d'axes parallèles à X, Y et Z.
Des axes linéaires secondaires U, V et W peuvent être ou non parallèles aux axes primaires X, Y, et Z.
Se reporter à la norme pour plus de précisions. »

Les différentes origines : L'origine machine, l'origine mesure, l'origine programme et l'origine pièce

- **L'origine machine et l'origine mesure**

Selon les acteurs

L'origine machine est une notion ambiguë et non stabilisée. Dans le contexte professionnel, *l'opérateur* parle d'origine machine :

> ET2OU-4- : « […] Alors il y a les origines machine. Les origines machine sont les dimensions maximums de la machine. Quand on arrive à la machine, on fait les origines machines, c'est-à-dire les axes se déplacent au maximum de la course de la machine. »

L'enseignant chercheur P1 parle d'origine mesure, plutôt que d'origine machine :

> *Origine mesure*
> ETRP1-53-CH : « Et qu'est-ce que c'est l'origine mesure ? »
> ETRP1-54-P1 : « C'est l'endroit où il se positionne le solide quand je lui dis d'aller à zéro ; En fait, j'ai pas une origine sur la machine, par contre, j'ai défini une origine sur le codeur, en quelque sorte »
> *Origine machine*
> ETRP1-55-CH : « Et c'est ça que tu appelles origine machine ? »
> ETRP1-56-P1 : « C'est ça que j'appelle origine mesure. La plupart des gens dans les entreprises parlent d'origine machine, quand ils envoient à zéro c'est l'origine de la machine. […] une machine n'a pas vraiment une origine, ça peut être n'importe où, c'est moi qui décide, on dit que c'est l'origine de mesures, on dit qu'à partir de là ça fait zéro et il faut que je dise en plus qu'est-ce que c'est qui va matérialiser mon zéro.[…]»

Selon les documents techniques :

Tableau 11 : Les différentes acceptions d'origine machine et d'origine mesure

Origines	**Manuel opérateur CN NUM® 1020/1040/1050/1060 M t W**	**Polycopié de cours (Sidobre, 2005)**	**MOCN, approches didactiques (INRP, 1988)**
Omachine OM	Om : La prise d'origine se fait sur une position physique précise, l'origine machine (Om) qui peut être confondue avec l'origine mesure (OM). Sur chacun des axes, l'origine machine est acquise par le système lorsque : - la butée d'origine a été actionnée dans le sens de déplacement prévu par le constructeur (sens de la POM), - le codeur mesurant le déplacement de l'axe envoie son top zéro.	OmOt Les coordonnées de ce vecteur sont affichées par la machine dans le mode d'affichage origine machine (page OM sur les machines NUM).	OM : point fixe lié à la machine, pris comme origine du trièdre de référence par rapport auquel on repérera la position de la pièce et de l'outil. Ce point peut être choisi arbitrairement à condition d'être connu sans ambiguïté.
Omesure Om	OM: Le système apprend la position de l'origine mesure (OM) par une prise d'origine mesure (POM). Dans le manuel NUM page OM consiste à visualiser les coordonnées par rapport à l'origine mesure (OM), p 4-4.	Aucune allusion à Om, alors on peut supposer que OM et Om se confondent, ou que cet auteur ne parle que d'origine machine.	Om : point de départ de la mesure d'un déplacement. Il est fixe et lié à la machine pour les systèmes « absolu ». Il est flottant dans les autres cas.

- **L'origine programme et l'origine pièce :**

Selon P1 :

Origine programme
ETRP1-66-P1 : « l'origine programme c'est l'origine que j'ai utilisé pour faire mon programme. Quand je fais le réglage, si tout est correct, si je lui dis à ma machine d'aller à zéro, je vais avoir ça qui va venir ici sur ce zéro là. Puisque je serais à Z zéro, X zéro, Y zéro. Mais c'est ça souvent le plus dur, […] il y a rien qui me dit que je sois en zéro et sur le codeur, j'ai pas le zéro non plus. »

L'origine pièce (ETRP1-76-P1) est énoncé par P1 en relation aux obstacles dans la somme vectorielle (pour calculer le PREF) effectuée par les étudiants lors de la séance de formation.

Selon les documents techniques :

Deux autres définitions d'origine sont données dans *le manuel de l'opérateur* (point 1.2.4, p 1-9): l'origine programme et l'origine pièce.

« Pour écrire un programme pièce, le programmeur choisit une origine programme.
L'origine programme est généralement un point de départ de cotations sur le dessin de la pièce.
OP : L'opérateur apprend au système la position de l'origine programme (OP) par une prise d'origine pièce,
Op : Apprentissage (pour chacun des axes) d'un point connu et accessible de la pièce dit origine pièce (Op) qui peut être confondu avec l'origine programme. »

Dans le manuel il est signalé que les deux origines (programme et pièce) peuvent se confondre - par un choix effectué par l'opérateur - comme c'était le cas avec les origines machine et mesure. Cependant, dans la vidéo de la pratique professionnelle de l'opérateur nous avons observé une distinction entre ces deux points, ainsi que dans le discours de l'enseignant (ETRP1-76-P1). En effet, dans la pratique observée, les acteurs ont choisi l'origine programme au point du montage des outils.

Selon le *document « machines outils à commande numérique, approches didactiques » de l'INRP* (1988, p 143), l'origine programme (OP) est l'origine du système de référence de la programmation, et l'origine pièce (Op) est l'origine du système de référence de la pièce.

Les différents documents analysés permettent d'affirmer qu'il n'existe pas de discordances en relation aux origines programme et pièce.

Les vecteurs : PREF et DEC

Selon les documents techniques :

Le *manuel de l'opérateur* introduit la notion de **PREF** et de **DEC** (point 1.2.4 (p 1-9)) :

« Décalage d'origine pièce (Op/OM) = **PREF**.
Introduction du décalage de l'origine programme par rapport à l'origine pièce (peut être réalisée par programmation). Décalage d'origine programme (OP/Op) = **DEC1** ».

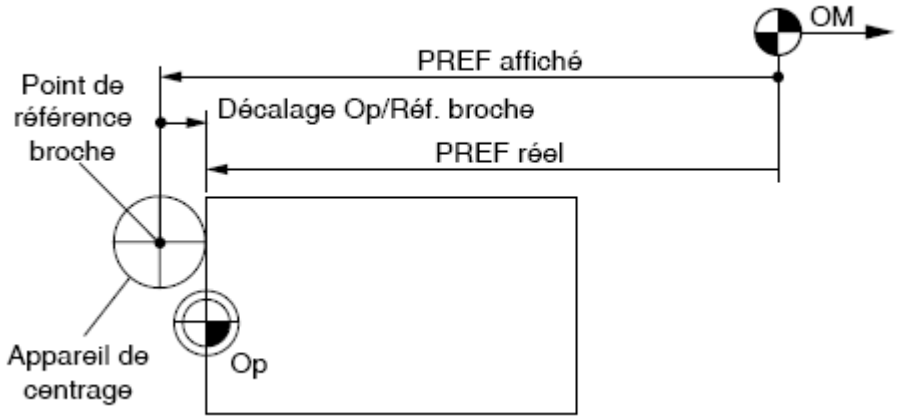


Figure 18 : Figure illustrative proposée par le manuel des MOCN NUM®

Le manuel propose ainsi une description de la procédure à suivre pour calculer et introduire la valeur du **PREF**, avec la condition préalable d'avoir réalisé le POM. La figure 18 représente une « simplification » du vecteur PREF, OMOp. En effet une expression vectorielle permet de préciser la valeur du déplacement selon le sens de rotation, mais l'expression proposée ne retient qu'un seul sens (alors que dans la réalité on peut avoir deux sens de décalage).

Le *document « machines outils à commande numérique, approches didactiques » de l'INRP* (1988, p 143), définit le DEC1 comme l'écart entre la position acquise en fin de décalage et la position souhaitée, et le PREF comme un préaffichage qui est le déplacement effectué sur l'axe, partant de l'origine machine pour atteindre le point choisi pour le réglage.
Cette différence dans la présentation des définitions entre les deux documents peut s'expliquer par l'intérêt du document édité par l'INRP pour dépasser certains obstacles dus à la complexification du système de repère dans les MOCN d'où la simplification du vecteur proposée dans le document des opérateurs. L'expression vectorielle complète[103] est considérablement réduit dans le manuel NUM®.

Les procédures : POM, PREF

- **Procédure du POM**

Dans le contexte professionnel et dans celui de la formation:
La procédure du POM a déjà été explicitée dans les définitions d'origine machine et mesure.

Dans les documents :
Le manuel NUM de l'opérateur :

[103] Il s'agit de l'expression de Chasles, voir annexe 3, document 4

La procédure du POM est présentée comme nécessaire avant d'effectuer le PREF. Elle est référée comme une Prise d'origine sur butée, pour mentionner, comme dit par P1, qu'il s'agit d'une prise de référence par la butée électrique dans le cas de certaines MOCN.
Le POM est selon le manuel la prise d'origine mesure.

- **Procédure de PREF**

La procédure de détermination du PREF est décrite par l'opérateur dans le contexte professionnel :

> ET2OU-4-OU : « Quand on arrive à la machine, on fait les origines machines, c'est-à-dire les axes se déplacent au maximum de la course de la machine. Après on place la pièce n'importe où sur la table ou sur l'étau et après on vient tangenter sur la pièce avec les trois axes, parce que je parle moi d'une machine de trois axes, X, Y et Z. On vient tangenter sur la pièce en X, en Y et en Z, et là, à la position où il y a la pièce, on tape les coordonnées, la valeur […] ».

Dans le document technique utilisé comme manuel de référence par l'opérateur, la procédure du PREF est décrite selon les deux modalités d'exécution : manuelle ou par programmation. L'objectif du mode manuel du PREF est d'abord donné (point 5.2.1.5 p 5-12) :

> « Cette méthode permet, en amenant la broche en contact avec la pièce, de faire mesurer directement les décalages d'origine pièce (PREF) par la CN. »

La condition de réalisation du POM est décrite par les actions à réaliser suivant chacun des axes :

1. « Amener en manuel le point de référence de la broche en contact avec la face d'origine de la pièce étalon.
2. Sélectionner le mode prise de référence (Voir 5.2.1.1).
3. Frapper "[nom de l'axe]".
4. Transfert de la côte mesure du point de référence broche dans le PREF de l'axe considéré qui l'affiche à l'écran.
5. Si nécessaire (utilisation d'un appareil de centrage)
6. Calculer la valeur réelle du PREF tenant compte des dimensions de l'appareil de centrage (Voir schéma). »

Enfin, l'expression vectorielle de Charles est réduite à une expression en valeur algébrique :

« PREF réel = PREF affiché + décalage Op / Réf. Broche (valeur algébrique) »

De manière similaire la procédure pour effectuer le PREF par programmation est explicitée, ainsi que la procédure pour effectuer le DEC1.
Cet extrait du manuel permet d'identifier une pratique pédagogique très courante dans l'enseignement du réglage avec des MOCN, qui en fait limite la transmission à une connaissance très procédurale, de manière, semble-t-il à éviter l'élargissement à d'autres classes de situations.

En conclusion, nous avons identifié des différences dans l'utilisation des termes. Ces différences constituent des obstacles à la compréhension des notions sous-jacentes à la tâche.
Par exemple, à propos des origines programme et pièce, P1 fait référence à l'origine programme pour calculer le vecteur PREF et note que les difficultés des étudiants sont en lien avec la somme vectorielle dans laquelle intervient l'origine programme, l'origine pièce et la longueur d'outil. Cette somme vectorielle correspond à une application de l'expression vectorielle énoncée auparavant. Quant à l'opérateur, il parle d'origine pièce et de longueur d'outil, et pas de l'origine programme. Ce point se retrouve dans la simplification effectuée dans le manuel lors du passage de l'expression vectorielle à une expression algébrique.

Rabardel et autres (1988) expliquent les réductions effectuées dans les expressions vectorielles et l'approche procédurale proposée par certains manuels et indiquent quelques conséquences possibles :

> « Ces difficultés portent sur l'identification du (ou des) décalages, sa valeur, son signe, son mode de calcul. Elles sont renforcées par la conception même des dispositifs d'information des machines. Les terminologies et concepts qu'ils imposent (PREF ; DEC ; Origines machine, mesure, outil, pièce, programme…) de par leur relative opacité, ne se prêtent guère à la constitution par l'opérateur d'une conceptualisation globale du problème. La tendance est donc à une approche pédagogique du réglage sur une base procédurale qui fait l'économie d'un système élaboré de représentation et de traitement. Cependant les méthodes procédurales trouvent leur limite dans le fait qu'elles sont spécifiques d'une machine (ou d'un constructeur) et d'un nombre restreint de situations d'usinage. En outre elles permettent difficilement la récupération d'incidents inhabituels et préparent mal les professionnels aux évolutions des matériels ainsi que de leur modes d'information et de gestion » (Ibid., p 72).

8.2.2.2 Transposition didactique en dehors de la classe et simulateur

Présentation de la tâche dans le cahier de TD

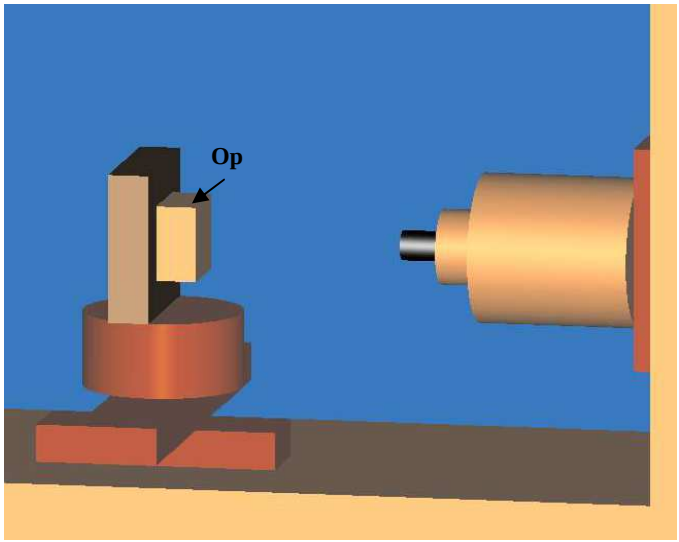
La tâche que les étudiants doivent réaliser est décrite dans le cahier de TD, et présentée par l'enseignant au début de la séance. Nous effectuerons l'analyse épistémologique de la tâche en prenant comme ressources d'abord les informations recueillies en dehors de la classe, avant la séance de formation. Les données fournies pendant la séance seront traitées ultérieurement.
Dans le cahier de TD[104], le texte commence ainsi :

> « Le but de ce TD est d'apprendre à l'utilisateur la mise en œuvre d'un centre d'usinage muni d'une interface NUM. La machine virtuelle utilisée représente le centre Graffenstaden CU 60 avec une commande NUM760F de l'atelier commun UPS/INSA. Mais les procédures décrites ici sont généralisables.

[104] Il est disponible dans l'annexe 3, document 7

La travail demandé : on considère que l'origine mesure OM est matérialisée par l'intersection entre l'axe Z et le plan de jauge dans le cône de la broche. L'origine pièce Op est choisie sur le montage comme représentée sur la figure. Le palpeur utilisé a une longueur de 110 mm et un rayon de 10 mm (données corrigés). Calculer le vecteur OmOp (vecteur PREF en langage NUM). »

Note : Une image est ensuite fournie avec la position du point Op.



« Le texte est divisé en 2 parties. La partie 1 s'adresse à des utilisateurs ayant déjà une connaissance en MOCN. Seules les grandes lignes sont explicitées. La partie 2 est destinée aux utilisateurs débutants. Chaque procédure est détaillée sur une page pour guider l'utilisateur pas à pas tout au long de la démarche. La mise en œuvre de la machine est décomposée en n séquences. »

L'analyse du cahier de TD proposée aux étudiants met en évidence une grande quantité de détails dans la description des procédures, ce qui pourrait être rapportée à une pédagogie qui limiterait l'élargissement à d'autres classes de situations. Nous avions noté ce fait lors de l'étude exploratoire, et cette perspective a été renforcée par les réflexions menées pendant l'analyse des notions autour de la tâche. Cependant, dans le cas abordé ici, la situation problème introduite, par le calcul du vecteur PREF, mobilise les notions des repères et des différentes origines, ainsi que l'expression de Chasles (voir annexe 3).

L'analyse du savoir présenté dans le cahier de TD et par le simulateur

L'étude de la transposition didactique s'intéresse à l'analyse du savoir présenté dans le cahier de TD et par le simulateur, les deux supports que les étudiants utilisent lors de la séance avec simulateur.

Il est important, auparavant, d'indiquer les intentions des concepteurs du simulateur. Dans la modélisation effectuée par le simulateur, ils expliquent avoir voulu représenter les fonctionnalités générales d'une MOCN, tout en s'inspirant de la MOCN NUM760F®.

Le cahier de TD

Concernant la tâche proposée aux étudiants, deux modes d'emploi sont proposés aux étudiants. Un premier mode pour les « utilisateurs avancés », dans lequel deux moments sont explicités, correspondant au POM et au calcul du vecteur Origine Mesure et Origine Pièce « OmOp ». Les opérations intermédiaires nécessaires pour effectuer ces deux procédures ne sont pas explicitées.

Le deuxième mode correspond aux « utilisateurs débutants » et explicite toutes les procédures pour effectuer le POM et calculer le vecteur PREF. Ainsi, des schémas de l'interface du simulateur représentent chaque procédure avec les touches à appuyer suivant un ordre chronologique. Cette présentation présente des ressemblances avec celle du manuel des MOCN de type NUM®. Il est donc intéressant d'analyser ces deux documents.

Le DEC=0

Dans la tâche proposée aux étudiants, utilisateurs avancés ou débutants, il est supposé (mais pas explicité) que l'Origine Pièce et l'Origine Programme coïncident. Le vecteur DEC, lié à la distance entre les deux points vaut zéro.

L'explicitation des procédures dans le mode manuel

Nous trouvons dans les différentes procédures présentées dans le cahier de TD davantage d'explications que dans le manuel de la NUM, sans que, pour autant, les notions présentées et les tâches proposées soient très différentes.

- Par exemple, dans la procédure pour le mode POM, apparaissent dans le cahier de TD la nécessité de passer en mode manuel, l'utilisation du mode ILL (illimité) et l'activation potentiomètre des avances. D'autres explications ont pour objet le potentiomètre des avances : activation, remise à zéro.
- D'autres exemples vont dans le sens d'une vérification des procédures. Par exemple dans le cas du déplacement en mode IMD, dans le cahier de TD est précisé qu'il faut vérifier si les déplacements se font dans le sens souhaité.
- Enfin, des « alarmes » permettent d'avertir l'utilisateur sur des « manques » dans la procédure (POM non faites ou porte non fermée), ou d'émettre une consigne pour le

travail avec la machine outil à commande numérique. C'est le cas quand il s'agit de mettre le potentiomètre à zéro avant tout déplacement.

Le PREF

L'explication de la procédure du PREF est différente de celle décrite dans le manuel de machine NUM®. Dans le manuel, on prévient de la prise en compte de la longueur d'outil (palpeur) dans la mesure du vecteur. Dans le cahier de TD, est proposée la prise en compte cette longueur pour vérifier si les PREF sont bien réalisées. Une procédure de vérification est ainsi introduite avec un double objectif :

- Effectuer l'introduction de PREF au clavier
- Vérifier que la procédure et le calcul du vecteur sont bien effectués.

Par le simulateur

Les changements que le simulateur provoque, autre que les changements d'ordre matériel (taille, interface, changements de vue), sont liés à la transposition didactique en dehors de la classe :

On considère que, dans la machine, l'axe Z de la pièce est colinéaire avec l'axe Z de la broche ; le montage d'usinage est dégauchi (on considère dans le simulateur que l'équerre est parfaitement dégauchie).

Les autres transformations, prises en compte et relevées dans la description du cahier de TD, sont liées à la recherche de la part des concepteurs d'une « fonctionnalité générale ». Celle-ci se traduit dans le simulateur par des fonctions différentes de celle de la machine qui a inspiré le simulateur mais qu'on peut trouver dans la plupart des MOCN de type NUM.

8.2.3 AUTOUR DE L'EVOLUTION TEMPORELLE DE LA BROCHE

Cette partie s'intéresse à la transposition didactique en dehors de la classe du concept technique élaboré en contexte de recherche et ensuite modélisé par le biais du simulateur pour être enseigné dans la situation de formation.

8.2.3.1 La dilatation de la broche

La transposition didactique en dehors de la classe à l'aide d'un simulateur

Le concept technique considéré est relatif à l'étude de l'évolution temporelle de la broche. Ce concept est intimement lié à la qualité de la pièce usinée et conduit à construire une modélisation du comportement de la broche. La modélisation de ce phénomène à partir des travaux menés au sein du Laboratoire de Génie Mécanique de Toulouse (LGMT), permet

aujourd'hui de calculer la variation de la longueur de la broche en fonction du temps et des conditions de coupe. La conséquence directe de cette variation dans la longueur de la broche sur la pièce usinée est la variation de la profondeur d'usinage.

Dans la modélisation de ce phénomène par le biais de la simulation informatique, une transposition, en tant que transformation, est repérée. La représentation de ce phénomène est prise en compte avec une échelle de couleurs qui affiche les écarts sur la profondeur d'usinage. Ces erreurs portent sur la différence entre une situation d'usinage dite « idéale » et une situation considérée plus proche de la réalité. Par la transposition, le savoir à enseigner n'est plus le seul phénomène de dilatation de la broche, mais aussi les conséquences que ce phénomène produit sur la pièce usinée.

Ce processus de transposition d'un concept technique (savoir théorique) en un savoir à enseigner correspond également à l'ancrage épistémique de cette équipe de recherche. Lors de l'entretien, P2 chercheur chargé de modéliser ce phénomène d'un point de vue de la recherche scientifique, explique comment s'opère le passage du phénomène à ses conséquences sur la pièce usinée :

> (ETCP2-12) : « En fait, l'idée c'était une modélisation relativement pragmatique de défauts, […] notre idée c'était de dire que ce qu'on veut, c'est caractériser la flexion, c'est qu'on connaisse l'outil qu'on utilise et les conditions de coupe à utiliser pour la matière usinée, sur la machine où on usine, pourquoi passer par un intermédiaire qui prend de liaison, plutôt pris comme une inflexion, au lieu de prévoir directement les défauts d'usinage liés à la flexion de l'outil, donc les défauts d'usinage sur la pièce, en fonction des conditions de coupe. Donc ça n'était pas la flexion de l'outil […] mesurer les défauts auxquels était confrontée la pièce, en fonction des conditions de départ.».

Ce chercheur propose donc d'utiliser une modélisation qui atteigne directement les défauts d'usinage provoqués sur la pièce en fonction des conditions de coupe, au lieu de modéliser l'outil de coupe.

La figure ci-dessous représente les effets de ce phénomène d'une part sur le simulateur (à gauche) et d'autre part sur une pièce usinée (à droite).

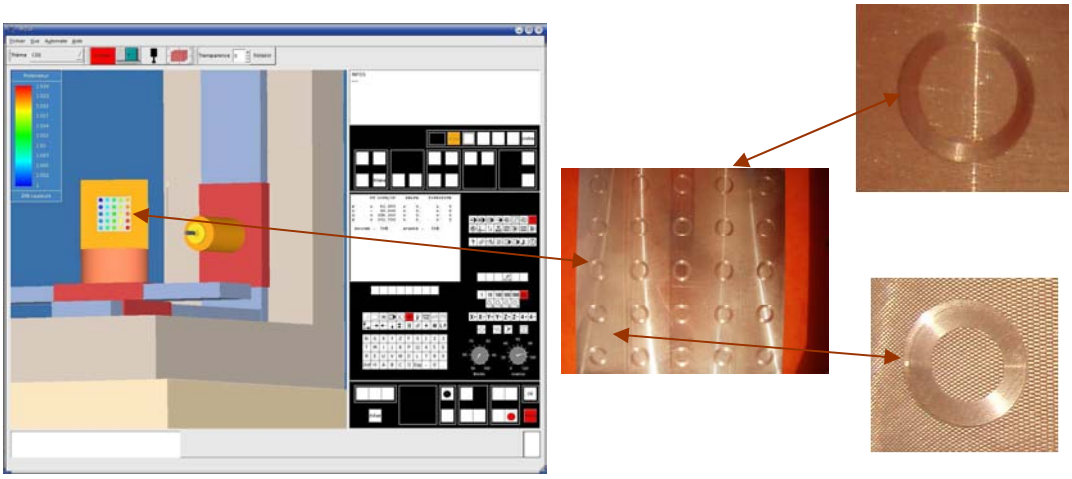


Figure 19 : Défauts montrés par échelle de couleurs versus défauts sur une pièce. Copie d'écran du simulateur.

La modélisation effectuée dans le simulateur informatique, permet d'afficher en échelle de couleurs, les différentes profondeurs dans la pièce, conséquences de la dilatation de la broche pendant la phase d'usinage.

Lors d'un entretien avec P1 (annexe 1 entretien 12), les raisons de ce choix sont évoquées. C'est d'abord parce qu'on ne sait pas comment la broche se dilate. Ensuite, c'est parce qu'il semble plus facile d'afficher les défauts sur la pièce.

Il est intéressant de noter que dans le processus de transposition en dehors de la classe de ce phénomène, les notions transposées constituent les indicateurs utilisés dans une situation d'usinage en contexte professionnel, afin d'identifier ce phénomène. En effet, l'opérateur identifie qu'il s'agit d'une dilatation de la broche, par la variation dans la profondeur d'usinage et corrige, soit par un changement dans l'origine en Z, soit par la longueur d'outil.

DISCUSSION DES RESULTATS ET APPLICATION POUR LA SUITE

Dans ce chapitre l'analyse de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation, dans une visée d'étude transpositive « en dehors de la classe » (relativement aux situations ciblées par la présente recherche), a permis d'identifier les éléments mobilisés pour la formation.

L'étude du curriculum prescrit a porté intérêt au syllabus de la formation à l'égard de la structure conceptuelle de la situation. Les catégories relevées sont à mettre en relation avec la pratique professionnelle future des étudiants, la construction des contenus et aux objectifs de la formation, les modalités de mise en œuvre des contenus.

L'analyse de la mise en fonctionnement et du réglage de la machine a permis d'identifier les notions sous-jacentes à la tâche et nous avons analysé la transposition par le biais du cahier de TD et du simulateur, qui apparaissent comme des instruments de médiation entre le sujet et l'objet de savoir. L'analyse de la transposition didactique en dehors de la classe de l'évolution temporelle de la broche s'est centrée sur le rôle du simulateur.

L'étude de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation s'achève, dans le chapitre suivant, avec l'analyse d'une partie de la transposition didactique « dans la classe ».

Chapitre 9:
Etude de la transposition didactique dans la classe

CHAPITRE 9

ETUDE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE DANS LA CLASSE

9.1 Méthodologie pour analyser la transposition didactique dans la classe
9.2 Résultats et discussion

Ce chapitre est consacré à l'analyse d'une partie de la transposition didactique dans la classe. La première partie est consacrée à l'explication des choix théoriques et méthodologiques. Dans la deuxième partie, les résultats sont présentés et discutés.

L'objectif général est d'analyser la mise en œuvre en situation de formation des savoirs relatifs à la mise en fonctionnement et le réglage d'une MOCN et à l'évolution temporelle de la broche. Ce chapitre clôture, dans la présente recherche, l'étude de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation.

9.1 ETUDE DE LA MISE EN ŒUVRE DU CURRICULUM

9.1.1 ANCRAGE THEORIQUE

La transposition didactique dans la classe débute avec l'analyse du curriculum réalisé (Perrenoud, 1998) et continue ensuite par l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques.

L'analyse de la transposition didactique dans la classe se situe ici dans la perspective dialectique proposée dans la présente recherche. Cette approche a permis d'établir les catégories d'analyse de la transposition didactique dans la classe :

1. La pratique professionnelle future des étudiants
2. Les éléments de la structure conceptuelle de la situation mobilisés en formation
3. Les modalités de mise en œuvre de contenus
4. L'intégration des éléments abordés dans le syllabus de la formation

Ces catégories permettent d'analyser les éléments du contexte professionnel mobilisés - ou non mobilisés- en contexte de formation et leurs fonctions dans la structuration du curriculum.

9.1.2 ANCRAGE METHODOLOGIQUE

D'un point de vue méthodologique, des entretiens (avec P1 et P3) ont été conduits. Ils portent sur des éléments de la structure conceptuelle de la situation : les concepts organisateurs et les classes de situations constituent des questions potentielles. Rappelons que P1 et P3 sont enseignants chargés de la mise en œuvre du curriculum et que P1 a un rôle institutionnel très fort dans l'élaboration du curriculum. Les entretiens ont lieu juste après leurs séances respectives de formation, afin d'identifier les notions effectivement mises en jeu en classe. La figure suivante explicite les catégories d'analyse :

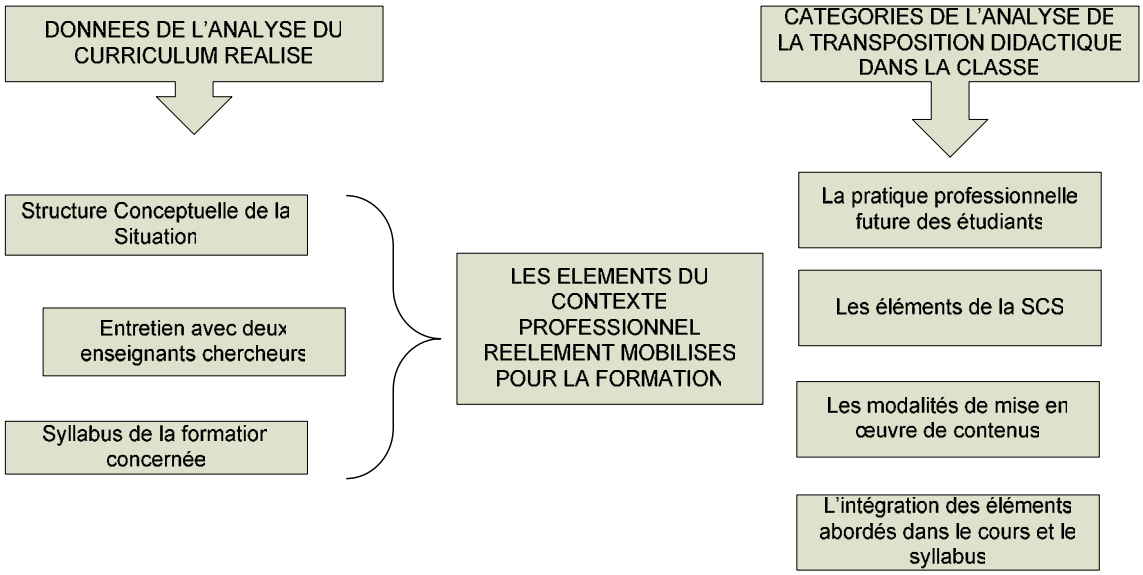

DONNEES DE L'ANALYSE DU CURRICULUM REALISE
Structure Conceptuelle de la Situation
Entretien avec deux enseignants chercheurs
Syllabus de la formatior concernée
LES ELEMENTS DU CONTEXTE PROFESSIONNEL REELEMENT MOBILISES POUR LA FORMATION
CATEGORIES DE L'ANALYSE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE DANS LA CLASSE
La pratique professionnelle future des étudiants
Les éléments de la SCS
Les modalités de mise en œuvre de contenus
L'intégration des éléments abordés dans le cours et le syllabus

Figure 20 : Les catégories pour l'analyse de la transposition didactique dans la classe

9.2 RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats s'organisent en deux niveaux. L'analyse considère les catégories énoncées précédemment.

9.2.1 LA PRATIQUE PROFESSIONNELLE FUTURE DES ETUDIANTS

Les références à la pratique professionnelle sont constantes chez P1, et apparaissent dans le discours de P3 quand on lui pose la question de manière explicite : Quels sont les apprentissages d'aujourd'hui que les étudiants vont utiliser quand ils travailleront dans leur futur métier **?**

Le décalage entre la situation de formation proposée et la future situation professionnelle dépend de l'orientation du cursus de formation que choisiront les étudiants après avoir fini cette formation :

> ETP1PSS 16 P1 : « C'est difficile de dire d'un L3 qu'est-ce qu'ils feront en M2. [..] Il y en a après qui partent [..], donc c'est pas du tout la même chose, […]. J'ai des étudiants qui sont partis sur les chaînes de production qui sont responsables d'atelier, donc ça correspond tout à fait. J'ai des étudiants qui sont partis en gestion de production […] mais ils sont plus du tout sur les machines [..].»

> ETP3PSM 15 P3 : **«** Déjà la connaissance du procédé, pas vraiment, l'utilisation parce que le réglage qu'ils font aujourd'hui je pense pas qu'ils vont le faire dans leur métier [..].»

En effet, la mise en fonctionnement et le réglage de la machine ne sont pas des procédures qu'ils vont mettre en œuvre directement, a priori, dans leur futur professionnel. Comment justifie-t-on alors ses apprentissages ?

Les réponses des professeurs portent d'abord sur la compréhension globale de « ce qui se passe dans les ateliers » :

> ETP1PSS 16 P1 : « […] mais c'est bien d'avoir cette coloration parce qu'ils comprennent plus facilement les problèmes des ateliers [..]. »
>
> ETP3PSM 15 P3 : « […] mais plutôt une connaissance globale du système : alors déjà comment ça fonctionne. »

Cette compréhension globale du système est liée aux connaissances des problèmes qu'on rencontre dans « la pratique », c'est-à-dire que les opérateurs d'usinage doivent confronter :

> ETP1PSS 16 P1 : […] Par contre, le retour des industriels c'est : parce qu'ils sont passés sur des étapes très pratiques, qu'ils ont mis les mains dans les machines, qu'ils ont pris conscience des problèmes et par la suite ils ont été sensibles aux solutions qu'on leur aura apportées, donc qu'ils comprennent aussi plus facilement les problèmes de l'atelier.
>
> ETP3PSM 15 P3 : [..] et quelles sont les difficultés qu'ils peuvent attendre les gens avec lesquels ils vont travailler, s'ils se rendent compte vraiment de quelque chose, c'est quel type de difficultés vont attendre les autres, et surtout ça à ce niveau là, c'est ce qu'ils apprennent aujourd'hui.

L'objectif général de la séance, c'est-à-dire la mise en fonctionnement et le réglage d'une machine outil, est en relation avec une pratique professionnelle qui n'est pas celle future des étudiants mais à laquelle il faut les sensibiliser.

L'analyse qui suit tente d'établir d'autres liens entre les discours sur les situations de formation et le contexte professionnel.

Le professeur P1 considère que les étudiants peuvent jouer des rôles différents en formation, rôles qui renvoient aux métiers dans le contexte professionnel :

- Le métier d' « opérateur d'usinage » :

> ETP1PSS 27 : « P1 Mais on considère que quand on est là, quand ils sont finalement sur la machine, ils ont la casquette « usineur », le problème du posage de la pièce c'est un problème de ce qu'on appelle de bureau de méthodes, c'est là qu'on réfléchit comment on va faire la pièce comment on va la poser, et comment on va la maintenir, et comment après on va l'usiner et à partir de ça on fait le programme. »

- Le métier de « contrôleur » (situé dans le bureau de métrologie)

> ETP1PSS 37 P1 : « Il y a différentes façons d'aborder le problème, il y a le cours de métrologie pure, il y a une pièce et il faut mesurer la pièce. Et dans le cours de CN il faut usiner une pièce. Donc là c'est bien séparé, comme dans une boîte, […] On envoie (la pièce finie) au bureau de métrologie, qui traite et qui dit si la pièce est bonne ou pas, et si on se rend compte qu'il y a une dérive, il y a un autre service qui vient et qui essaie de regarder d'où vient la dérive et où il faut corriger. »

Enfin, le discours de P1 porte un regard sur le besoin d'interdisciplinarité dans la formation :

> ETP1PSS 51 P1 : « […]je pense et on le fait de moins en moins et c'est dommage, qu'il faudrait que les gens fassent conception, fabrication et traitement thermique, parce que tu peux pas concevoir si tu sais pas comment ça se fabrique, et si tu connais pas la structure thermique, et tu peux pas fabriquer si tu sais pas quelles sont les possibilités de traitement thermique, et tu peux pas le traiter si tu sais pas comment on va le fabriquer par la suite […]Parfois dans les boîtes ils font les [îlots], c'est un groupe de

> personnes qui s'occupent de faire la conception, fabrication, mesure etc, ça c'est bien comme ça il y a des compétences qui tournent, même si un n'a que des compétences en conception, il va voir avec celui de fabrication qui est à côté, le problème c'est quand il n'y a pas de lien entre les deux, quand tu as la conception qui est au deuxième étage et l'atelier qui est au sous-sol […] »

9.2.2 LES ELEMENTS DE LA STRUCTURE CONCEPTUELLE DE LA SITUATION

L'écart entre les deux contextes : celui d'un opérateur d'usinage et celui d'un diplômé en licence trois, sciences de la production, semble évident. A partir de l'analyse de la première catégorie nous remarquons un souci de « sensibilisation » qui justifie l'enseignement des certains contenus qui ne sont pas liés directement à la pratique professionnelle future des apprenants[105].

L'objectif est porté maintenant à l'identification des contenus choisis pour promouvoir cette sensibilisation vers un apprentissage global. Pour cela, l'analyse des contenus mis en jeu pendant la séquence de formation est effectuée en relation avec les éléments de la structure conceptuelle de la situation (SCS) de mise en fonctionnement et de réglage d'une machine outil.

De façon générale, les modalités des réponses formulées par P1 et P3 sont différentes. P1, professeur avec un rôle institutionnel fort, formule ses réponses en positionnant les différents sujets dans l'ensemble du curriculum de la formation. P3, professeur agrégé, répond de façon plus binaire, en relation avec la mise en œuvre en classe (ou pas), des situations citées dans les questions.

Nous trouvons un premier exemple de ce fait dans leurs réponses relatives au concept organisateur « positionnement de la pièce dans l'étau ». P1 renvoie cet enseignement au module de formation intitulé « bureau de méthodes ». Pour justifier son propos, il explique que cette notion n'appartient pas au contexte professionnel d'un opérateur sur machine, qui est finalement l'objectif actuel de la séance.

> ETP1PSS 27 P1 : « Alors ça, on le traite pas là, le premier posage de la pièce, c'est pas dans ce cours là qu'on le traite, oui, on l'aborde, parce que c'est indispensable. Un posage intelligent permet de gagner du temps, de gagner des sous, permet de gagner de la qualité. Mais on considère que quand on est là, quand ils sont finalement sur la machine, ils ont la casquette usineur. Le problème du posage de la pièce est un problème de ce qu'on appelle bureau de méthodes, c'est là qu'on réfléchit […]. »

P3 explique comment il travaille cette notion dans la phase de préparation à l'usinage :

[105] Les tableaux relevant de cette catégorisation sont disponibles dans l'annexe 4 support 1.

> ETP3PSM 19 P3 : « Avant de venir, à deux heures, on a regardé un petit peu la pièce avant de les avoir, parce que je connaissais pas la pièce et ils n'ont pas eu longtemps de la travailler et je connaissais la machine mais je savais pas qu'est-ce qu'on allait faire dessus, donc on a essayé d'imaginer qu'est-ce que ça pourrait être, essayer de regarder de façon logique où il fallait appuyer le brut […].Donc on avait essayé d'anticiper, en se demandant ce que serait la position, en essayant de prévoir les valeurs. »

D'autres exemples montrent comment la situation est simplifiée par rapport à la situation de référence. Les notions mises en jeu, le type de matériel, les conditions de coupe et la prise en compte de variations de température, etc, sont séparées et abordées dans d'autres modules de formation ; par exemple, à propos du type de matériel utilisé :

> ETP1PSS 31 P1 : « ça aussi on le traite pas dans le cours de CN, ça on le voit dans un cours qui s'appelle […] processus d'usinage, où tu abordes les différentes façons d'usiner les différents matériaux, mais ça on leur fait toucher davantage sur la machine conventionnelle […]. »

> ETP3PSM 21 P3 : « Déjà on travaille pas du tout avec de l'acier, on travaille qu'avec l'aluminium, parce que c'est moins difficile et la matière est plus agréable à travailler et on le coupe complètement. Par exemple il y a des matériaux plus dur, le titane qu'ils sont en train de travailler ici à côté, qui est plus difficile à usiner, sur lesquels déjà c'est pas usiné normalement »

Nous trouvons des références au traitement des indicateurs tels que les conditions de coupe et les variations de température (voir tableau de l'annexe 4 support 1).

Enfin, après le découpage de la situation de référence effectué par la mise en œuvre du curriculum, une situation globale qui prend en compte tous ces aspects est proposée aux étudiants dans un autre module. Il s'agit de la mise en projet :

> ETP1PSS 33 P1 : « Là on revient à la même chose, là c'est pas un problème spécifique de la CN, c'est un problème qui est exactement le même sur une machine conventionnelle. […] Ça aussi on le fait mais pas dans la matière, pas spécifiquement dans la partie CN. Après il y a des projets globaux qui intègrent tout ça »

9.2.3 LES MODALITES DE MISE EN ŒUVRE DES CONTENUS DANS LA SITUATION DE CLASSE

Les deux analyses présentées précédemment renvoient à la pratique professionnelle et à l'introduction des contenus en classe portant sur les éléments d'une pratique professionnelle (par la structure conceptuelle de la situation). Nous nous interrogeons maintenant sur les modalités de mise en œuvre des contenus en relation avec la structure conceptuelle d'une situation ainsi que sur le caractère théorique ou pratique de ces contenus.

En relation avec la théorie de la conceptualisation dans l'action, une mise en œuvre des contenus plus théorique favoriserait le développement du modèle cognitif chez les étudiants.

En revanche, une mise en œuvre de caractère plus pratique impulserait l'évolution de leur modèle opératif. Dans cette analyse, il semble important de rappeler les différents instruments utilisés pendant la formation. Il s'agit de la situation de formation avec le groupe « d'expérimentés ». L'enseignant P1 utilise un simulateur de machine outil, en salle d'informatique, dans un contexte de formation de Travaux Dirigés (TD). L'enseignant P3 utilise les machines outils à commande numérique (MOCN) en situation de formation de Travaux Pratiques (TP).

L'organisation du milieu apparaît dans les discours de P1 et P3 à travers différents éléments ; le premier élément est la durée des séances. La durée globale allouée ne permet pas d'aborder l'usinage de pièces complexes :

> ETP1PSS 49 P1 : « […] Donc on essaie de l'aborder un petit peu avec les étudiants, on le fait pas suffisamment, parce qu'on a pas assez de temps. »
>
> ETP3PSM 33 P3 : « Non en fait parce que les pièces complexes demandent beaucoup de temps sur la machine, donc quand on prend en compte qu'on a quatre heures de classe, deux ou trois heures pour régler la machine, il ne reste plus qu'une heure pour usiner, on considère que s'ils savent faire une pièce simple, ils sauront plus tard extrapoler parce qu'il y a le temps qui va avec. Mais des pièces complexes où il faut passer quatre heures à faire de l'usinage, pour l'instant n'est pas jouable dans une demi journée. Il faudra imaginer deux ou trois demi journées à la semaine pour faire l'ensemble. Donc pour l'instant on reste sur des pièces relativement simples, petites, simples avec le nombre d'heures limitées qu'on a. »

Le deuxième élément est constitué par les objectifs de la séance de formation qui privilégient certains contenus en détriment d'autres (le contrôle de la qualité de la pièce) :

> ETP3PSM 29 P3 : « Ça on le travaille quand on a le temps, on l'a travaillé aujourd'hui un petit peu, auparavant c'est pas l'objectif majeur, l'objectif majeur c'est de leur faire prendre en main une machine outil. «
>
> ETP1PSS 39 P1 : « Il y a différentes façons d'aborder le problème, il y a le cours de métrologie pure, il y a une pièce et il faut mesurer la pièce. Et dans le cours de CN il faut usiner une pièce. Donc là c'est bien séparé, comme dans une boîte. Après c'est aussi intéressant de dire à l'étudiant les pièces que tu as usinées tu vas les mesurer, parce que c'est en fonction des défauts qu'ils voient, qu'ils vont pouvoir imaginer l'action corrective à effectuer pour avoir une pièce qui sort bonne. Alors ça dépend un petit peu de l'objectif»

Le troisième élément est la prise en compte des parcours et des profils des étudiants :

> ETP1PSS 2 P1 : « […] je pensais pas du tout qu'en si peu de temps ils allaient faire la mise en œuvre, alors qu'à Toulouse (expérience de P1) ça prenait beaucoup plus de temps, donc je me basais sur le temps que je connaissais. Est-ce que c'est dû au fait qu'ils aient utilisé la machine plus que certains étudiants toulousains ? Est-ce que c'est dû au simulateur ? Je sais pas, où est-ce que c'est dû au fait qu'ils étaient en petit groupe ? Je sais pas te répondre. »
>
> ETP3PSM 13 P3 : « [..] Là d'un autre côté ils sont plus âgés que ceux que nous avons habituellement, ceux qu'on a habituellement ont le niveau bac +1 et aujourd'hui ils étaient bac +3, ils sont plus âgés. »

La recherche de dialectiques entre théorie et pratique est présente dans les discours des enseignants.

C'est ainsi que, pour la préparation à la procédure, P1 combine la théorie (par des exemples au tableau) et la pratique (procédure dans le simulateur) dans la séance de TD. P2 a préparé la séance de TP le matin même, dans une session théorique :

> ETP1PSS 2 P1 : « Dans la réalité, ils ont beaucoup de mal à faire la procédure, pourtant toute simple de mise en œuvre, et là manifestement ils ont eu aucun problème. C'est-à-dire au départ, on a repris des notions qu'ils connaissaient manifestement mais qu'ils avaient oubliées. C'est pour ça qu'il a fallu faire les exemples au tableau parce que je n'arrivais pas à les faire accrocher, alors qu'ils avaient déjà fait ça. Alors on a refait les exemples au tableau, et après comme ils sont passés sur le simulateur, ça a marché tout de suite. »

> ETP3PSM 31 P3 : « Voilà ce matin je les ai vus en cours pendant trois heures. On a parlé de ce qu'on allait faire cet après-midi, je leur ai répété la théorie de ce qu'on allait faire aujourd'hui et puis là je continue peu avec les problèmes particuliers qu'on rencontre d'un point de vue théorique en regardant comment ça s'applique aujourd'hui. »

Les étudiants ont tous (sauf une), une expérience en stage ouvrier avec machine outil à commande numérique, il est donc possible de supposer qu'ils ont développé un modèle opératif.

Des éléments sur l'évaluation des acquis des étudiants apparaissent dans les discours des professeurs. Il faut, par exemple, agir de manière logique (procédure), et trouver les valeurs attendues…

> ETP1PSS 18-20 P1 : « Là c'est relativement simple, si les valeurs qu'ils me donnent sont bonnes, c'est qu'ils ont fait la manip comme il faut […] »

> ETP3PSM 17-19 P3 : « Comment on le travaille ? En lui disant, en lui préparant, en leur montrant qu'est-ce qu'il faut faire de façon logique. […] »

9.2.4 L'INTEGRATION DES ELEMENTS ABORDES PENDANT LES COURS DANS LE CURRICULUM

A ce niveau d'analyse, l'objectif est de comprendre comment les éléments de la structure conceptuelle de la situation (SCS) sont intégrés dans la situation de formation et dans le syllabus.

Le premier élément de la structure conceptuelle est le concept organisateur « *positionnement de la pièce* ». Il est selon P1 intégré dans le syllabus dans un cours intitulé « bureau de méthodes[106] » :

[106] Le bureau des méthodes constitue le lien entre le bureau d'études et la production. Il faut définir tous les processus de fabrication (outils, phases d'exécution, gammes, mises en position...). Il est indispensable de

> ETP1PSS 27 P1 : « Alors ça, on le traite pas là, le premier posage de la pièce. […]On l'aborde dans le cours de bureau de méthodes. »

P3 explicite comment ce concept est intervenu dans la séance de formation sur MOCN avec le groupe des expérimentés :

> ETP3PSM 17-19 P3 : « Oui, on s'était mis à l'inverse effectivement[107]. […] Avant de venir, […] on a regardé un petit peu la pièce avant, […] donc on a essayé d'imaginer ce que ça pourrait être, essayé de regarder de façon logique où il fallait appuyer le brut. […] Parce que j'avais regardé tout à l'heure en lui disant : « voilà, si on le met comme ça, ça va marcher, si on le met comme ça, ça va se compliquer un petit peu », on a essayé d'analyser deux ou trois cas. »

Dans le syllabus de la formation[108], nous avons identifié un module intitulé « bureau d'étude » spécifique à chaque parcours et qui se déroule dans le premier semestre de L3. Dans le cas du génie mécanique :

> « Les contenus associés au parcours de systèmes mécaniques sont : la simulation numérique pour le développement produit, (dimensionnement d'une pièce), l'utilisation d'un logiciel de CFAO pour améliorer le développement d'un produit à travers une exploitation et une interprétation des résultats d'une conception assistée par ordinateur. La modalité de contrôle de connaissances dépend aussi du parcours et pour les systèmes mécaniques consiste à la présentation orale d'un projet. Ce cours appartient au premier semestre de L3, et le volume horaire est de 30 heures de TP. » (Extrait du syllabus, annexe 3 document 6)

Concernant le concept organisateur « *qualité requise de la pièce* », nous avons interrogé les enseignants par rapport à certaines situations : l'influence du type de matériau, celle des conditions de coupe, la prise en compte des variations de température, le contrôle des pièces et l'usinage des pièces complexes. Dans les réponses, P1, rappelons-le avec un fort rôle institutionnel, situe ces situations dans l'ensemble du syllabus.

S'agissant des types de matériaux, P1 situe cet enseignement dans le cours intitulé « processus d'usinage » et P3 (ET3PSM21P3) a déjà déclaré n'utiliser que l'acier dans la formation.

> ETP1PSS 31 P1 : « […] ça on le voit dans un cours qui s'appel le processus d'usinage, où tu abordes les différentes façons d'usiner les différents matériaux, mais ça on leur fait toucher davantage sur la machine conventionnelle […]. »

Les conditions de coupe sont abordées dans des « projets globaux » selon P1 :

> ETP1PSS 33 P1 : « C'est pas un problème spécifique de la CN, c'est un problème qui est exactement le même sur une machine conventionnelle. […] on le fait […] pas spécifiquement dans la partie CN. Après il y a de projets globaux qui intègrent tous ça.

---

connaître des outils, des machines de production et différents types de fabrication possibles pour les différentes pièces à fournir.

[107] P3 se réfère à une situation pendant la séance de formation, le positionnement était effectué depuis le « bureau d'études » de la séance de formation antérieure et les étudiants n'ont pas bien placé la pièce dans l'étau.

[108] Disponible dans l'annexe 3 document 6

P3 établit par avance les conditions de coupe de la situation d'usinage en formation avec MOCN :

> ETP3PSM 23 P3 : « Dans un premier temps on leur donne des conditions de coupe je dirais générales, pas trop exigeantes, et là ça va très bien pour les matières qu'on a et après quand on passe sur des machines plus pointues, plus rapides, il faut prendre plus de soin avec les outils et le logiciel permet de repérer les bonnes conditions de coupe, d'usinage de matière »

Dans les syllabus, nous avons identifié trois modules de formation (autres que le « bureau de méthodes » énoncé précédemment) qui pourraient potentiellement concerner les situations relativement au concept organisateur « qualité de la pièce » : le module « moyens de production », le module « mécanique du solide » et le module « conception et fabrication assistée par ordinateur/commande numérique ».

La variation de température et le contrôle des pièces, sont abordés selon P1 dans le cours de métrologie.

La prise en compte des variations de température semble difficilement abordable dans la situation de formation, selon P1 et P3 :

> ETP1PSS 37 P1 : « [Température ambiante] Oui on la traite parce que dans la partie de métrologie, il y a un cours de métrologie et là oui tu la prends en compte. [Température coupe-outil] Par contre, les températures générés par le passage de l'outil etc là, c'est la thèse de G, on en touche un mot mais… ça fait partie de problèmes compliqués. »

> ETP3PSM 27 P3 : « Tout ça c'est à chaque fois des difficultés supplémentaires, […] et c'est pas traité sur ce cas là, ça pourrait, ça devrait, mais on a voulu aller pour l'instant à des choses plus simples. Dans un deuxième module, on a prévu un deuxième cours plus tard plus pointu sur des problèmes beaucoup plus ciblés, mais ce cas là pour l'instant on l'a pas envisagé. »

Par rapport à la mesure des côtes dans la pièce usinée, P1 et P3 explicitent comment ils enseignent ces situations :

> ETP1PSS 39 P1 : « Il y a différentes façons d'aborder le problème, il y a le cours de métrologie pure, il y a une pièce et il faut mesurer la pièce. Et dans le cours de CN il faut usiner une pièce. Donc là c'est bien séparé, comme dans une boîte. Après c'est aussi intéressant de dire à l'étudiant les pièces que tu as usinées tu va les mesurer, parce que c'est en fonction de défauts qu'il voit, qu'ils vont pouvoir imaginer l'action corrective à effectuer pour avoir une pièce qui sort bonne. »

> ETP3PSM 29 P3 : « Ça on le travaille quand on a le temps, on l'a travaillé aujourd'hui un petit peu, auparavant c'est pas l'objectif majeur, l'objectif majeur c'est de leur faire prendre en main une machine outil. Normalement là en fin de la séance on devrait contrôler les pièces qu'on a fabriquées, les mesurer et puis dire si elles sont correctes ou pas correctes pour refuser. Ça on va pas le faire, on va dire, mais ça devrait en faire partie. Je le fais aussi d'un point de vue théorique, en cours, par exemple. »

Nous avons pu identifier les deux modules concernant la métrologie dans le syllabus de la formation. Il s'intitulent « instrumentation 1 : acquisition et métrologie » et « instrumentation 2 : système optiques et de propagation » ; ils se déroulent dans le semestre 3 et 4 de la deuxième année de licence.

DISCUSSION DES RESULTATS ET APPLICATION POUR LA SUITE

Ce chapitre est consacré à l'analyse d'une partie de la transposition didactique dans la classe. Trois types de données ont été mobilisées : les éléments de la structure conceptuelle de la situation, le document syllabus de la formation visé et les entretiens effectués avec les enseignants P1 et P3 juste après leurs séances de formation réalisées avec le groupe d'expérimentés. Ce groupe d'expérimentés, est en troisième année de licence (L3) en spécialité de génie mécanique. Nous avons donc analysé le syllabus de leur parcours.

L'analyse des résultats a permis de mettre en évidence deux éléments :
1. Le premier concerne la manière avec laquelle les situations de référence (dans ce cas, professionnelles) sont « transformées » dans les situations de formation. Des contraintes matérielles, temporelles liées au milieu ont été énoncées.
2. Le deuxième est relatif à la distribution des contenus de formation dans le syllabus. La plupart des contenus ont été mis en œuvre récemment, par des modules de formation qui ont lieu dans la même année de la formation. Pour d'autres, comme par exemple la métrologie, les étudiants sont censés mobiliser des connaissances, apprises bien avant (dans le semestre 3 de L2 par exemple).

Cette analyse permet ainsi d'approfondir l'étude de la dialectique entre le contexte professionnel et celui de la formation, abordée dans la présente recherche par le biais des processus transpositifs.

Nous arrêtons ici l'étude de cette dialectique. Nous poursuivons l'analyse de la transposition didactique dans la classe par l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur.

Chapitre 10:
Etude du fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur

CHAPITRE 10

ETUDE DU FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DIDACTIQUES AVEC SIMULATEUR

10.1 Méthodologie pour l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques
10.2 Etude de la co-activité étudiant-enseignant : du côté de l'enseignant
10.3 Etude de la co-activité étudiant-enseignant : du côté des étudiants

L'étude du fonctionnement des systèmes didactiques est réalisée sous une perspective de didactique professionnelle. La première partie est consacrée à la méthodologie. La deuxième partie analyse la co-activité, vue du côté de l'enseignant. La troisième partie s'intéresse à la co-activité, vue du côté des étudiants.

L'objectif de ce chapitre est d'analyser le fonctionnement d'un système didactique avec simulateur informatique, par la co-activité enseignant-étudiant.

La partie théorique de la présente recherche a abordé l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques[109]. Cette étude s'appuie sur une orientation théorique, la didactique professionnelle et sur la conceptualisation dans l'action. L'analyse de la situation de formation en aval permet d'avancer quelques éléments caractéristiques :

- Dans le système didactique différentes interactions peuvent à priori exister, entre:
    - Enseignant et étudiant
    - Etudiant et étudiant
    - Etudiant et objet de savoir

L'étude du fonctionnement des systèmes didactiques s'intéresse à ces interactions.

L'interaction enseignant-objet de savoir a été abordée dans les chapitres précédents.
La problématisation de la recherche conduit à deux questions d'orientation.

1 La première concerne une partie du curriculum ou la transposition didactique dans la classe. Cette question a été approchée dans le chapitre 9, elle est étudiée maintenant en termes de registre de technicité mis en œuvre dans la situation de formation en fonction des profils des étudiants. D'un point de vue méthodologique, le présent chapitre aborde la transposition dans une approche ascendante.
2 La deuxième est relative à l'étude des interactions proposées par le système didactique sous l'angle de la théorie de la conceptualisation dans l'action. Nous nous intéressons à la co-activité entre l'enseignant et l'étudiant et à l'évolution des modèles opératifs des étudiants.

Dans ce chapitre sont donc proposés des éléments méthodologiques, les résultats et les analyses.

10.1 METHODOLOGIE

10.1.1 ANCRAGE THEORIQUE

10.1.1.1 Approche théorique sur l'activité de l'enseignant

Le cadre conceptuel[110] permet d'introduire l'analyse de l'activité de l'enseignant sous la perspective développée par Samurçay (2005) et Rogalski (2003, 2006b) dans une approche de didactique professionnelle. L'intérêt est porté sur le rôle de médiation de l'enseignant dans la

[109] Voir paragraphe 3.5 du cadre conceptuel
[110] Voir paragraphe 3.5.3 du cadre conceptuel

gestion des situations avec simulateur par les stratégies déployées. Les questions de recherche s'intéressent au registre de technicité effectivement mis en œuvre par la co-activité enseignant-étudiant.

10.1.1.2 Approche théorique sur l'activité des étudiants

L'activité des apprenants a été définie comme une activité constructive par le moyen d'une activité productive (Pastré et al., 2006 ; Pastré 2008). L'activité productive, la mise en fonctionnement et le réglage d'une MOCN, deviennent ainsi le support de l'activité constructive.

Nous nous intéressons à l'évolution du modèle opératif des étudiants, dans le cas des situations en formation initiale[111]. Les résultats des analyses antérieures[112] ont permis d'établir une relation entre ces « compétences de base », difficilement envisageables en formation initiale (selon les contraintes économiques et temporelles énoncées) et le registre de technicité visé par le curriculum. En effet, en termes d'objectifs de la formation, nous avons identifié un registre de participation, visant un registre, non pas de maîtrise (Cartonnet, 2006) mais de lecture, ce qui peut s'expliquer par la pertinence des contenus vis-à-vis la pratique professionnelle future des apprenants.

La problématisation de cette recherche a mis en lumière des difficultés dans la détermination du modèle opératif des sujets, en relation avec la caractérisation des modèles opératifs et à la dissociation des deux modèles, opératif et cognitif qui cohabitent en fait dans la même structure du cognitif du sujet (Pastré et al., 2006). En relation avec ces difficultés méthodologiques nous proposons une approche permettant d'abord d'effectuer une caractérisation des modèles opératifs des sujets en situation de formation par l'identification des « obstacles » à l'évolution de ces modèles opératifs, et par l'analyse du transfert. Ces obstacles peuvent être identifiés par les différentes activités mises en oeuvre par les étudiants et par l'enseignant. Nous situons cette approche dans une perspective de performance par rapport à la notion de compétence. Nous retiendrons a priori des obstacles d'origine didactique et d'origine épistémologique (Brousseau, 2003, p 4) :

- Les obstacles d'origine didactique relèvent d'un choix du projet éducatif, et dans le cas de la présente recherche, des choix effectués par les concepteurs du simulateur. Ces choix ont été étudiés en relation avec la transposition didactique en dehors de la

[111] Pastré (2005, p 78) pointe que dans ce cas là, le but est de construire un minimum de compétences qui permettra à l'apprenant d'agir dans des classes de situations « de base ».
[112] Voir les chapitres 8 et 9 concernant les processus de transposition.

classe. Nous analyserons quelles sont les conséquences de ces choix dans l'apprentissage des étudiants.

- Les obstacles d'origine épistémologique « sont ceux auxquels on ne peut, ni ne doit échapper, du fait même de leur rôle constitutif dans la connaissance visée. » (Ibid., p4).

Notre démarche cherche à identifier ces obstacles de manière plus précise.

Nous nous intéressons ensuite au transfert de l'activité. Le transfert est lié à la notion de schème (Vergnaud, 1981). On peut supposer qu'un sujet, ayant développé un schème pour agir efficacement dans une situation, est capable de transférer son action à une autre situation de la même classe. Le transfert est important dans le cas de l'utilisation des simulateurs pour la formation. En effet, le simulateur est conçu pour permettre l'élaboration d'un premier modèle opératif concernant certaines classes de situations. Nous nous intéressons ainsi au transfert de l'activité des étudiants dans deux cas : le transfert du réglage à d'autre types de centres d'usinage, d'une fraise à un tour ; et le transfert du réglage dans un simulateur vers une MOCN.

10.1.2 ANCRAGE METHODOLOGIQUE

La méthodologie de cette partie s'appuie sur la théorie de la conceptualisation dans l'action, et de la didactique professionnelle. Les méthodes d'analyse s'inspirent ainsi de travaux :

- en didactique de mathématiques et en psychologie ergonomique (Robert & Rogalski, 2002 ; Rogalski, 2006b ; Robert, 2007)
- en didactique professionnelle (références déjà citées)

Nous allons expliciter les apports de chacune de ces approches en relation avec la méthodologie mise en œuvre.

L'ancrage méthodologique s'organise autour le dispositif de recueil de données et de types de données.

10.1.2.1 Le dispositif de recueil de données

Dans la présentation du cadre conceptuel, nous avons discuté du contexte éducatif et des choix des situations d'étude.

Concernant **le contexte éducatif**, nous rappelons que l'étude de terrain a lieu dans le CUFR de Champollion (Albi). Ce centre universitaire a été caractérisé en relation avec différents modèles universitaires. Par rapport à la formation envisagée au sein de ce contexte, le contrat quadriennal met en avant « la pluridisciplinarité, la proximité, la capacité d'innovation, les méthodes pédagogiques »[113]. Nous avons indiqué l'influence du modèle universitaire dans l'élaboration de curriculum, et le rôle actif des enseignants dans le cas des formations universitaires. En effet, les analyses menées jusqu'à maintenant révèlent le rôle en amont de P1 dans l'élaboration de curriculum. L'étude de terrain s'intéresse aussi à son rôle en aval, dans la situation de formation.

Les choix des objets de savoir dans l'étude sont déterminés par le curriculum et par les observations préalables (de l'étude exploratoire). Ainsi, la situation de mise en œuvre et de réglage d'une MOCN et le concept technique d'évolution temporelle de la broche ont été identifiés comme étant les objets de savoir. Nous avons effectué l'analyse de ces objets de savoir depuis le contexte professionnel et jusqu'à leur présentation avec un simulateur. La dernière étape dans l'étude de la transposition didactique dans la classe a été en partie analysée par le curriculum réalisé ; elle est complétée dans cette partie. L'étude de la tâche et des savoirs sous-jacents a permis d'identifier les notions mobilisées pendant le déroulement de la situation de fonctionnement et de réglage de la machine. *Ces notions constituent un premier critère dans le choix de séquences analysées*.

Installation des conditions d'étude

En cohérence avec la perspective didactique adoptée et les questions d'orientation proposées, nous avons étudié deux groupes d'étudiants différenciés par leurs expériences dans l'utilisation des MOCN. La méthode de recherche[114] cherche ainsi à installer les conditions d'étude nécessaires pour accéder d'une part aux productions des étudiants, d'autre part aux échanges verbaux entre l'enseignant et les étudiants.

Description de la démarche concernant l'enseignant P1 :

L'enseignant P1 est un des concepteurs du simulateur et il utilise cet instrument comme moyen d'introduction de la mise en fonctionnement et de réglage d'une MOCN. On a établi avec lui les conditions de mise en place des dispositifs méthodologiques essentiels pour la

[113] Voir cadre conceptuel, paragraphe 1.1

[114] La méthode de recherche est définie par Yves Reuters (2007, p 17) « comme la forme prise par la démarche de travail mise en place pour tenter de répondre à une question dans une discipline de recherche déterminé ».

présente recherche : les entretiens, les observations avec vidéo. Puis, nous avons décidé ensemble la mise en place d'un système permettant de recueillir les traces des étudiants dans le simulateur. P1 a assuré la première séance de formation avec simulateur (en mai 2007), ainsi que la deuxième séance de formation avec simulateur et avec MOCN (en mai 2008).
L'interprétation des données réalisée par la chercheuse a été systématiquement présentée et discutée avec P1, lors de multiples échanges tout au long de la recherche.

Description de la démarche concernant le « groupe d'expérimentés » :
Durant le mois de mai 2007, nous avons filmé le groupe d'expérimentés. L'étude de terrain a eu lieu dans une séance, dans laquelle P1 assure l'enseignement. L'objectif de cette séance est la mise en fonctionnement et le réglage d'une MOCN. Seulement trois étudiants sont présents lors de cette séance. La séance de formation a lieu dans la salle d'informatique du CUFR de Champollion à Albi. Les étudiants travaillent en autonomie, chacun face à un ordinateur. La séance dure environ deux heures et demie.

Description de la démarche concernant le « groupe d'apprentis » :
Durant le mois de mai 2008, nous filmons le groupe d'apprentis. L'objectif de la séance est la mise en fonctionnement et le réglage d'une MOCN. L'étude de terrain se rapporte à une séance que l'on peut diviser en deux parties. Une première partie qui dure environ deux heures, est consacrée à l'utilisation du simulateur. Les étudiants, au nombre de cinq, sont repartis en deux groupes, un binôme et un trinôme. Dans la deuxième partie, qui dure environ deux heures, les étudiants, répartis de la même manière, ont travaillé avec les MOCN, une fraise (qui ressemble au simulateur) et un tour.

10.1.2.2 Types de données et recueil

Les données recueillies sont les interactions au sein de la classe et les productions des étudiants.

1. Les interactions au sein de la classe

Les interactions au sein de la classe ont été recueillies sous forme de vidéo (image et son).

- Dans le cas du « groupe d'expérimentés » les étudiants travaillaient en autonomie, seuls devant le simulateur, les interactions entre étudiants n'ont pas été très nombreuses, et le microphone était placé sur l'enseignant.
- Dans le cas de « groupe d'apprentis » les étudiants travaillaient en binôme et en trinôme. Les échanges entre eux étaient nombreux, nous avons enregistré les échanges au sein de chaque groupe et ceux avec l'enseignant P1.

Le recueil des interactions au sein de la classe ne se limite pas aux interactions verbales. L'enregistrement vidéo permet d'identifier d'autres formes d'interventions des acteurs (non verbal, actions).

2. Les productions des étudiants : les archives « .did [115]»

Les productions des étudiants sont recueillies par l'intermédiaire des traces des actions effectuées par les étudiants sur le simulateur. Lors de la conception du simulateur, nous avons prévu le développement d'un programme[116] permettant cet enregistrement. Chaque fois qu'un utilisateur active ce programme, les actions effectuées sont enregistrées de façon qualitative (quelle touche – quel bouton) et quantitative (combien de temps on appuie sur ce bouton). Le téléchargement des fichiers permet le visionnement des actions des utilisateurs en continu. Cependant, le programme ne prend pas en compte les pauses et d'une manière générale la temporalité. Il n'est donc pas possible, par ce seul dispositif, d'assigner à chaque action le dialogue correspondant aux interactions verbales enregistrées par ailleurs. Mais grâce à l'analyse précise des interventions de l'enseignant, il redevient possible de caler ces interventions avec les traces des actions des étudiants. Cet aspect est indispensable pour l'identification des obstacles à l'apprentissage.

La première séance avec simulateur (mai 2007)

Dans le « groupe d'expérimentés » le dispositif suivant a été mis en place :

- L'entretien avec un étudiant a permis d'identifier qu'il s'agit bien d'étudiants ayant développé un modèle opératif. Nous avons questionné les autres étudiants en utilisant un test portant sur les mêmes questions que celles de l'entretien.[117]
- La séance de formation et le recueil des traces des actions des étudiants et de P1 ont été enregistrés. Le simulateur est utilisé ici dans sa version « fraise »[118].
- Des entretiens avec les étudiants et avec l'enseignant P1 permettent d'expliciter certaines difficultés repérées lors de l'utilisation du simulateur[119].
- L'enregistrement de la séance et le recueil des traces des actions des étudiants ont été réalisés également avec le simulateur en version « tour »[120].

[115] Disponibles dans l'annexe 3 document 9
[116] Le programme a été développé par l'ingénieur de conception dans le cadre du projet ERTé
[117] Disponibles dans l'annexe 1, entretien 8
[118] Disponible dans l'annexe 2, synopsis 11 jusqu'au 15 et dans l'annexe 4, support 2
[119] Disponible dans l'annexe 1, entretien 9
[120] Disponible dans l'annexe 4, support 2

- Un entretien a été mené avec l'enseignant P1 à propos de la mise en œuvre des contenus et des difficultés rencontrés par les étudiants et par lui-même pendant la séance[121].

Concernant cette séance de formation, nous avons effectué par la suite un nouvel entretien de réflexion avec l'enseignant P1 sur certains points concernant l'interprétation des données[122].
Les données pour la recherche sont présentées ci-après :

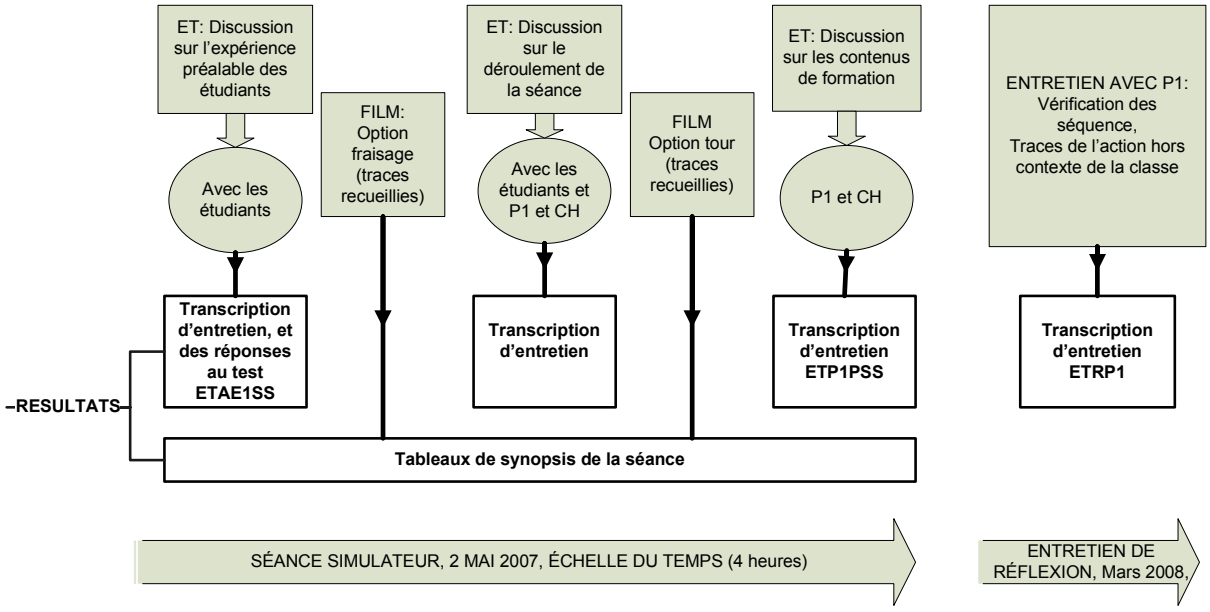

ET: Discussion sur l'expérience préalable des étudiants
FILM: Option fraisage (traces recueillies)
ET: Discussion sur le déroulement de la séance
FILM Option tour (traces recueillies)
ET: Discussion sur les contenus de formation
ENTRETIEN AVEC P1: Vérification des séquence, Traces de l'action hors contexte de la classe
Avec les étudiants
Avec les étudiants et P1 et CH
P1 et CH
Transcription d'entretien, et des réponses au test ETAE1SS
Transcription d'entretien
Transcription d'entretien ETP1PSS
Transcription d'entretien ETRP1
–RESULTATS–
Tableaux de synopsis de la séance
SÉANCE SIMULATEUR, 2 MAI 2007, ÉCHELLE DU TEMPS (4 heures)
ENTRETIEN DE RÉFLEXION, Mars 2008,

Figure 21 : Dispositif d'étude de terrain, séance simulateur 2007

La deuxième séance avec simulateur et avec MOCN (mai 2008)

Les données de recherche portent sur les interactions au sein de la classe et sur les productions des étudiants avec le simulateur. La séance a débuté avec le simulateur, sur indication de la chercheuse, afin de rendre les données de deux groupes comparables. Une caméra a été positionnée de manière à prendre en plan général les étudiants sur les deux ordinateurs (simulateurs). Les étudiants ont travaillé en binôme et en trinôme.

Dans la deuxième partie de la séance, les étudiants travaillent avec les machines outils à commande numérique de l'atelier. Ils se sont regroupés avec la même configuration qu'auparavant : un binôme et un trinôme. Le microphone a été porté par P1, et nous avons positionné la camera vers le trinôme. Les traces sur le simulateur que nous avons pu récupérer appartiennent à ce trinôme qui travaillait ensuite sur la machine qui ressemblait le plus au

[121] Disponible dans l'annexe 1, entretien 10
[122] Disponible dans l'annexe 1, entretien 12

simulateur. Ce dispositif d'observation rendait l'étude comparable avec la situation étudiée avec le « groupe d'expérimentés ». La figure suivante décrit le recueil de données :

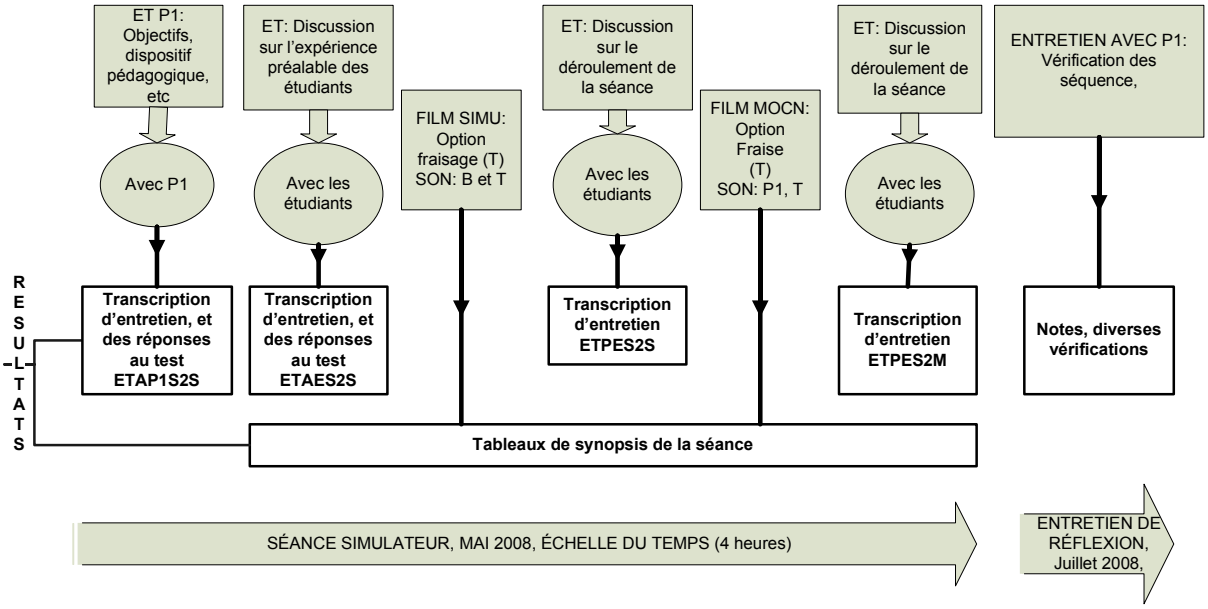

ET P1: Objectifs, dispositif pédagogique, etc
ET: Discussion sur l'expérience préalable des étudiants
FILM SIMU: Option fraisage (T) SON: B et T
ET: Discussion sur le déroulement de la séance
FILM MOCN: Option Fraise (T) SON: P1, T
ET: Discussion sur le déroulement de la séance
ENTRETIEN AVEC P1: Vérification des séquence,
Avec P1
Avec les étudiants
Avec les étudiants
Avec les étudiants
RESULTATS
Transcription d'entretien, et des réponses au test ETAP1S2S
Transcription d'entretien, et des réponses au test ETAES2S
Transcription d'entretien ETPES2S
Transcription d'entretien ETPES2M
Notes, diverses vérifications
Tableaux de synopsis de la séance
SÉANCE SIMULATEUR, MAI 2008, ÉCHELLE DU TEMPS (4 heures)
ENTRETIEN DE RÉFLEXION, Juillet 2008,

Figure 21 : Dispositif d'étude de terrain, séance simulateur-machine 2008

Dans le groupe d'apprentis la méthodologie de recherche est mise en œuvre avec les données suivantes :

- Un entretien avec P1 permet d'identifier les objectifs de la séance, l'organisation etc[123].
- Un entretien effectué auprès des étudiants, en groupe, permet d'identifier leur rapport avec les MOCN, leurs expériences, leurs parcours, etc[124].
- Un enregistrement vidéo/audio de la séance de formation avec simulateur, des échanges entre P1 et les étudiants et des échanges au sein d'un groupe est réalisé. Nous avons récupéré le fichier .did d'un seul groupe (le trinôme)[125].
- Un entretien avec les étudiants (en groupe aussi) est effectué afin de connaître leurs positionnements relativement aux activités mises en œuvre et leurs difficultés dans l'utilisation du simulateur[126].

[123] Disponible dans l'annexe 1, entretien 13
[124] Disponible dans l'annexe 1, entretien 14
[125] Disponible dans l'annexe 2, synopsis 16 jusqu'au 19
[126] Disponible dans l'annexe 1, entretien 15

- Un enregistrement vidéo de la séance de formation avec machine est réalisé, en centrant l'attention sur le trinôme (son et vidéo) et sur les échanges entre P1 et les étudiants.
- Deux entretiens, avec le binôme (travaillant sur un tour), et avec le trinôme (travaillant sur la fraise qui ressemble au simulateur) sont effectués[127].

Deux mois après, nous avons interrogé P1 sur quelques aspects relatifs à l'interprétation des données.

10.1.3 CHOIX DES SEQUENCES ET ANALYSE DE DONNES

10.1.3.1 L'analyse des données : du côté de l'enseignant

Concernant l'activité de l'enseignant, la question qui oriente d'abord l'analyse, et donc le choix de séquences, porte sur le registre de technicité. L'analyse porte sur les stratégies mobilisées par l'enseignant afin de réguler le registre de technicité mis en œuvre dans la situation de formation en fonction du profil des étudiants. Ensuite, l'analyse de l'activité de l'enseignant s'intéresse à la médiation dans la gestion des obstacles, didactiques et épistémologiques.

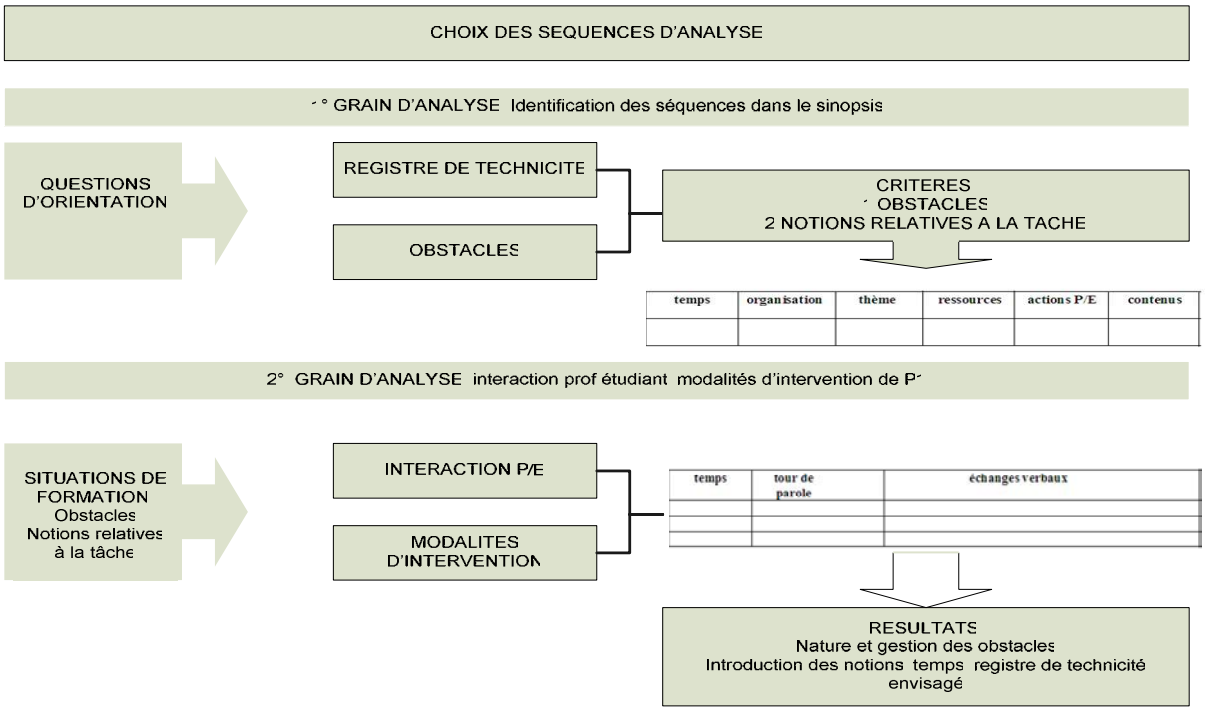


Figure 22 : Deux niveaux d'analyses

[127] Disponible dans l'annexe 1, entretien 16, 17

Dans un premier temps (premier grain d'analyse), ce sont les questions d'orientation qui imposent les critères de choix de séquences à explorer : l'identification des obstacles et des notions en jeu relativement à la tâche. Ces critères conduisent à organiser les synopsis en six catégories : le temps, l'organisation de la classe, le thème général, les ressources utilisées, les actions relatives à l'enseignant et à l'étudiant et les contenus.
Une fois les séquences ainsi identifiées (deuxième grain d'analyse), sont prises en compte des interactions verbales dans les séquences. Nous cherchons notamment à identifier les modalités d'intervention de l'enseignant et à les caractériser.

10.1.3.2 L'analyse des données : du côté de l'apprenant

L'analyse de données est basée sur les synopsis des séances et sur les interactions verbales. Une première lecture des vidéos a permis d'identifier des différences dans les échanges verbaux en relation avec les différentes modalités d'organisation de la classe dans les deux groupes :

- *Dans le « groupe d'expérimentés »*

Les étudiants travaillent en autonomie, seuls face au simulateur, ce qui limite les échanges verbaux entre eux. La plupart des interactions sont celles de l'enseignant vers l'ensemble des étudiants, ou entre enseignant et étudiants.

- *Dans le « groupe d'apprentis »*

Les étudiants travaillent en équipe, et les interactions verbales entre étudiants sont plus nombreuses. Dans ce cas, nous disposons des échanges des étudiants au sein des deux groupes concernant la mise en œuvre des stratégies dans l'action.

La différence entre les modalités rend difficile la comparaison des interactions dans les deux séances à un niveau de grain très fin. Les durées des séances sont semblables - en durée effective, c'est-à-dire, celle du temps de formation - : la première (celle de 2007) dure 2 heures 30 minutes, la deuxième (2008) dure 2 heures. L'analyse est organisée au niveau local, « celui de la séance […] qui fait intervenir le temps réel » (Robert, 2007, p 198). Elle est basée sur la méthode de description des déroulements de séance de classe de Robert (2007). Elle est suffisante pour identifier les notions introduites et les modalités d'intervention de l'enseignant. Robert (2007, p 199) propose une méthodologie en trois étapes. La première porte sur l'établissement d'une chronologie a priori des tâches, la deuxième sur l'analyse de déroulement et la reconstitution des activités des élèves, la

troisième consiste à intégrer les analyses dans un contexte plus large. Nous avons adapté cette méthodologie aux besoins de la présente recherche, guidée par les questions d'orientation.

Première étape « chronologie des tâches »

Pour élaborer la chronologie des tâches, la chercheuse a effectué la résolution du problème posé par le cahier de TP à l'aide du simulateur. Nous disposons aussi des traces de l'activité de l'enseignant sur le simulateur : archive .did (répertoire d'actions) et les explicitations verbales associées à la séquence d'actions[128].

Deuxième étape « activité des étudiants »

Nous reconstituons l'activité des étudiants à partir des archives .did (répertoires d'actions). La description de cette activité en relation avec la chronologie des tâches de la première étape constitue un premier niveau d'analyse. Par la suite, nous calons les interventions de l'enseignant P1 en repérant les obstacles. Ces deux analyses permettent de caractériser une partie de l'évolution de l'activité de l'apprenant, en relation avec son modèle opératif.
« Les interventions de l'enseignant sont soigneusement étudiées » (Robert, 2007, p 198). L'intérêt est porté sur la forme et la nature des échanges.

Troisième étape, discussion des analyses avec l'enseignant P1

Robert (2007, p 199) propose d'intégrer les analyses effectuées à un contexte plus large, par leur questionnement avec l'enseignant. Nous avons intégré cette proposition en deux phases ; la première correspond à l'entretien effectué après la séance avec simulateur en 2007. Une partie de cet entretien porte sur les difficultés rencontrées lors de la séance de formation et P1 pose effectivement des alternatives. La deuxième correspond aux entretiens de réflexion effectués après les séances avec simulateur.

10.1.4 CARACTERISATION DES ACTEURS

Les acteurs sont l'enseignant P1, les étudiants du groupe « d'expérimentés » et ceux du groupe d' « apprentis ».

10.1.4.1 L'enseignant P1

P1 a déjà été largement caractérisé en tant qu'enseignant-chercheur :

[128] Disponible dans l'annexe 4, support 3

- Il est capable d'élaborer des concepts techniques (registre de technicité de transformation)
- Il est expérimenté en tant qu'enseignant : 20 ans d'expérience dans l'enseignement supérieur.
- Il assure des cours dans les deux séances avec simulateur que nous avons observées.
- Il a assuré également la formation avec les MOCN dans la séance de 2008, avec le groupe d'apprentis.

10.1.4.2 Le « groupe d'expérimentés »

Le « groupe des expérimentés» (séance avec simulateur de mai 2007) est composé de trois étudiants, E1, E2 et E3.

L'étude de cas porte principalement sur les activités des étudiants travaillant avec le simulateur en mode fraisage et en mode tournage.

Les étudiants ont été interrogés sur leur expérience relative à l'utilisation des MOCN, le principe de réglage et le positionnement de la situation du réglage de la machine dans l'ensemble de la phase d'usinage. Un entretien avec E1 est d'abord effectué, et les mêmes questions ont été posées auprès d'E2 et d'E3 sous forme de questionnaire. L'entretien a été effectué 20 minutes après le début de la séance, et P1 avait déjà présenté les notions relatives au réglage d'une MOCN. Les réponses des étudiants sont donc à prendre avec précaution.

Les trois étudiants sont titulaires d'un BTS. Ils ont tous déjà travaillé avec des MOCN, soit dans le cadre de la formation (E1, E2 et E3), soit dans un cadre professionnel (E2).

Il est intéressant de comparer les réponses de chacun des trois étudiants à la question : en quoi consiste une opération de réglage ?

Tableau 12 : Réponses relatives au réglage, groupe d'experts

Réponse d'E1 (transcription)	Réponse d'E2 (copie)	Réponse d'E3 (copie)
ETAS1S-E1-4 : « régler une machine ? ça sert déjà à initialiser la machine quand on l'allume, c'est-à-dire, savoir où la machine elle est quand on l'allume, et ensuite déplacer les axes d'outils, déplacer les outils pour trouver, comme on vient de le voir, les différents origines, l'origine programme, l'origine pièce, l'origine mesure. Chaque origine correspond à une origine bien spéciale, ça c'est logique »	ETAS1S-E2 : « Le réglage consiste à montrer à la machine dans quel sens se déplacer et trouver son « repère ». Le réglage consiste à délimiter la pièce et éviter le plus possible les collisions. »	ETAS1S-E2 : « Les réglages permettent de localiser les différentes origines ainsi que les prefs et les decs. »

Les réponses des étudiants ici sont à relativiser puisqu'elles sont prises après l'introduction des notions dans la séance de formation. Nous identifions ainsi dans le discours d'E1, l'intégration des différentes origines en relation avec l'exposé de l'enseignant (ETAS1S-E1-4 :

« comme on vient de le voir »). Mais les réponses relatives au positionnement de l'opération de réglage permettent aussi d'induire l'existence préalable de connaissances sur le fonctionnement de machines outils. En effet, E1 répond en parlant d'outil alors que l'opération correspondant n'a pas été énoncée par l'enseignant et E2 fait référence aux conditions de coupe.

En considérant le parcours scolaire de ces étudiants, titulaires d'un BTS et qui ont donc effectué un stage ouvrier (l'un d'entre eux a même une expérience professionnelle), on peut supposer **l'existence d'un modèle opératif, préalable à la situation de formation avec simulateur**.

La situation de formation est celle annoncée dans le syllabus. Elle correspond au code L3PCI67MOS, de troisième année de licence Sciences, Technologies et Santé, option Physique, Chimie, Ingénierie (PCI) dans la spécialité de génie mécanique. Elle a été analysée lors des résultats concernant la transposition didactique dans la classe[129]. Ce module est obligatoire pour les étudiants de cette licence.

10.1.4.3 Le « groupe d'apprentis »

Le groupe d'apprentis est celui de la séance de 2008. Il est composé de cinq étudiants, (A1, A2, A3, A4 et A5). Ces étudiants se sont organisés en deux groupes : un binôme (B) composé par A1 et A2, et un trinôme (T) composé par A3, A4 et A5. Nous avons récupéré les données concernant le trinôme. Afin d'estimer les connaissances préalables des étudiants, nous avons effectué un entretien (en groupe) sur leurs parcours, leurs expérience et les objectifs de la séance de formation avec simulateur. Ils sont dans la même licence (PCI) que le groupe des experts, mais pas avec la même orientation puisque le cours sur MOCN correspond à un module d'ouverture.

Ce groupe est néophyte en ce qui concerne les MOCN :

> ETAE2SS-E3-7 : « […] là on découvre totalement ça, c'est-à-dire, qu'on a aucune base, on arrive sans bagage et donc là on découvre totalement la CAO et la conception tout court. Donc là on va découvrir les machines, l'usinage on n'a jamais fait ».

Cette affirmation est partagée par P1, qui indique la pertinence de ce module de formation en relation avec un projet de construction de miniatures en formule 1 auquel les étudiants participent.

[129] Les résultats sont discutés dans le chapitre 9

Ces étudiants ont effectué leurs études depuis la première année dans l'enseignement supérieur dans le CUFR de Champollion.

P1 a montré aux étudiants une vidéo de l'usinage d'une pièce et leur a donné quelques indications avant de commencer cette séance :

Tableau 13 : Réponses relatives au réglage, groupe de novices

CH	Est-ce que vous savez en quoi consiste régler une machine ?
A1	Oui c'est faire le zéro, caler l'outil faire le zéro, pour que le programme installe la bonne…
A3	Il nous dit, quand on crée la pièce, sur le schéma on crée un axe de référence et on s'arrange quand on règle la machine pour que l'axe de référence de la machine soit…

Nous pouvons conclure que le groupe d'étudiants de cette séance, par le manque d'expérience préalable, n'a pas développé un modèle opératif concernant l'activité de réglage d'une MOCN. **C'est pour celle raison qu'on le nomme le « groupe d'apprentis ».**

10.1.5 L'ORGANISATION DE RESULTATS

Tout au long de ce chapitre, les différents aspects relatifs aux données recueillies pendant les séances de formation ont été exposés :

1. Le type et les moments de recueil de données
2. Les étapes de construction des résultats (relatives aux groupes d'étudiants) et les critères de sélection de séquences (par rapport aux interventions de l'enseignant).
3. Les analyses de données, en deux niveaux
4. Les acteurs, étudiants et enseignants, et la caractérisation de chaque groupe.

Nous avons organisé les résultats en trois étapes.

- L'établissement d'une chronologie a priori des tâches, servant de base pour comparer par la suite, l'activité des acteurs.

Les documents sont un tableau de données contenant les actions de P1 sur le simulateur ainsi que les explicitations et les résultats de l'analyse de la tâche effectuée dans le chapitre de transposition didactique en dehors de la classe[130].

- La reconstitution de l'activité de l'enseignant et des étudiants.
- L'interprétation et la discussion des résultats avec les acteurs

10.2 ETUDE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-ETUDIANTS : DU CÔTE DE L'ENSEIGNANT P1

[130] Le premier document est disponible dans l'annexe 4, support 3 et l'analyse épistémologique des notions sous-jacentes à la tâche dans le chapitre 8, paragraphe 8.2.2.1

Dans l'étude du fonctionnement d'un système didactique avec simulateur informatique, l'analyse est centrée sur la co-activité enseignant-étudiants. Cette co-activité est analysée d'abord du côté de l'enseignant P1. Deux séances de formation avec des acteurs expérimentés et apprentis permettent de caractériser la co-activité du côte de l'enseignant[131] face à deux classes de situations différenciées : le cas d'apprenants ayant développé un modèle opératif et le cas d'apprenants apprentis.

10.2.1 LA PREMIERE SEANCE : AVEC LE GROUPE D'ÉTUDIANTS EXPERIMENTES

La première séance avec simulateur est organisée par P1 autour de trois moments :

- Un moment d'explication générale des notions en jeu dans la procédure de mise en fonctionnement et réglage des MOCN.
- Un moment dédié à la démonstration de l'activité du simulateur, préalable à la pratique des étudiants.
- Un moment destiné à l'utilisation du simulateur par les étudiants.

Ces deux derniers moments se répètent dans la séance : une première fois dans l'utilisation du simulateur en mode fraisage, une deuxième fois dans l'utilisation du simulateur en mode tournage.

10.2.1.1 L'explication générale des notions en jeu

L'explication générale des notions en jeu dure environ 40 minutes. Il est intéressant de concevoir ce moment comme une situation de formation préalable à une activité. Le système didactique est constitué par le groupe de trois étudiants, l'enseignant P1 et les enjeux des savoirs. L'enseignant P1 utilise le tableau pour développer ses explications, qui peuvent être comprises comme *des extraits des futurs enjeux de savoirs, isolés de leur situation d'exploitation (actions sur les machines ou avec le simulateur) par l'enseignant*. Dans ce contexte nous avons identifié les stratégies utilisés par l'enseignant : l'appui sur l'expérience acquise, l'utilisation des concepts en mécanique et la mobilisation des notions par le biais d'une situation problème.

- **L'appui sur l'expérience**

La première stratégie développée par P1 consiste à s'appuyer sur l'expérience préalable des étudiants pour introduire les savoirs en jeu dans leur future activité. Il semble difficile, pour

[131] Dans ce travail nous appellerons simplement activité de l'enseignant P1 et des étudiants afin de ne pas alourdir le texte, mais l'approche théorique explicitée par l'approche didactique professionnelle consiste à envisager l'activité de l'enseignant et des étudiants comme une co-activité.

l'enseignant, d'isoler les savoirs d'une situation si les étudiants n'ont pas une expérience sur machine, leur permettant de « s'imaginer » (image mentale) le rôle de ces notions dans la situation.

D'abord, P1 utilise cette stratégie afin de connaître les MOCN avec lesquelles les étudiants ont travaillé :

> Seq1SS1-P1-1 : « […] comment vous en avez fait de la machine, comment vous en vous êtes servis ? vous en avez fait beaucoup, un peu, il y a longtemps ? L'année dernière vous avez utilisé le CNN ? »

Les réponses des étudiants permettent de répondre à « quand ? (La dernière fois) » et à « comment ? ». P1 s'intéresse ensuite au type (au sens de la marque) de machine que les étudiants ont utilisée :

> Seq1SS1-P1-6 : « […] La c'est le NUM 760® et c'est pareil à Figeac, je pense que c'était un NUM® que vous aviez quand vous étiez à Gascon, et toi tu avais un NUM® ? »

P1 se sert ainsi du type de machine, NUM® plutôt que SIEMENS®, pour présenter l'objectif de la séance : la mise en fonctionnement et le réglage d'une MOCN de type NUM®.

Ensuite, P1 élargit le champ conceptuel associé au réglage de la machine.
Nous avons identifié, en relation avec les procédures de POM, **PREF** et **DEC1**, les réductions effectuées en contexte professionnel des expressions vectorielles et leurs causes (Rabardel et al., 1998). En deux moments P1 se sert de ces « réductions » opérées dans le contexte professionnel pour élargir le champ conceptuel[132] d'application de certaines notions.

- Le premier exemple est relatif aux notions « origine machine » et « origine mesure »

Dans cet exemple P1 s'appuie sur l'expérience (professionnelle) d'E2 pour essayer de changer l'appellation d'une origine sur la machine. Dans son discours, il commence par discuter des appellations possibles (celle d'origine mesure) et ensuite oppose une pratique professionnelle dans l'industrie (« souvent dans les boites ») à autre une pratique - formation institutionnalisée des étudiants qui préparent le CAPES.

> Seq1SS1-P1-6 : « […] vous parlez d'origine mesure ou d'origine machine ? »
> Seq1SS1-E2-7 : « Machine »
> Seq1SS1-P1-8 : « Machine, bon en principe, / il y a pas d'origines sur une machine / il n'y a pas un endroit qui dit ça c'est le zéro de la machine. Par contre il y a vraiment une origine mesure : c'est le zéro sur la règle, donc ce serait plus correct de parler d'origine mesure que de parler d'origine machine.

[132] Le champ conceptuel constitue par l'ensemble de situations et par l'ensemble des concepts et théorèmes permettant d'analyser et de classer ces situations en termes de tâches (Vergnaud, 1991). Vergnaud (Ibid., p 148) élargit la théorie des cadres conceptuels à d'autres disciplines, comme la mécanique, « qui implique une grande variété de situations et de concepts ». Dans le cadre de cette recherche, nous utilisons l'expression élargissement du cadre conceptuel pour nommer une stratégie développée par l'enseignant P1 ayant pour but d'associer aux différentes situations connues par les étudiants, les concepts mécaniques associés.

> Les gens qui passaient par le CAPES puis l'agrég on les obligeait à parler d'origine mesure. Par contre souvent dans les boites on parle d'origine machine, on parlait d'aller à l'origine machine et quand on est à zéro il y a le codeur. // En principe l'origine mesure est Om. Souvent on fait la confusion entre le Om et le OM ; le OM c'est ce qu'on appelle l'origine machine et le Om c'est l'origine mesure, que vous, vous appelez l'origine machine. »

- Le deuxième exemple concerne la notion de vecteur **PREF**

P1 s'aide ici de l'expérience en formation des étudiants :

> Seq1SS1-P1-14 : « Est-ce que vous vous rappelez, comment vous faisiez pour positionner l'origine programme ? Est-ce que vous aviez une méthode particulière ? Ça m'est arrivé de passer dans des lycées, où il y a marqué en gros sur le tour, PREF= tant, c'était comme ça que vous aviez ?
> Seq1SS1-E1-E2-E3-15 : « Non »
> Seq1SS1-P1-16 : « Moi le système PREF=tant, j'aime pas bien parce que tu as l'impression que c'est une donnée constructeur. Dans le CN il n'y a rien d'obligatoire, tu peux modifier à peu près tout ce que tu veux, et a fortiori le PREF. Alors, c'est vrai que souvent dans les lycées, dans un tour, puisqu'en principe la pièce on doit la mettre à l'appui sur la butée qui est dans la broche […] J'avais une fois pour toute, la distance entre la tourelle, et la butée donc en gros ça c'est le PREF. Sauf que toi quand tu mets ta pièce tu peux avoir envie de faire le PREF où ça te va bien, d'accord ? »

Ces exemples montrent comment l'expérience des étudiants sert de support à l'enseignant P1 pour essayer d'élargir le champ conceptuel relatif à une situation. Relatif à la notion du **PREF**, cet élargissement semble être en concordance avec la nécessité de « Fournir aux élèves les moyens de se constituer une représentation fonctionnelle du problème du réglage qui puisse avoir une portée générale pour l'ensemble des situations […]. Elle permettrait ainsi le contrôle de leur exécution sur un plan représentatif et non plus seulement par la fidélité à un mode opératoire » (Rabardel & autres, 1988, p 72).

Il est important de signaler que cet élargissement semble possible parce que les étudiants, ayant développé un modèle opératif, peuvent se représenter l'activité, ce qui permet à l'enseignant de mobiliser les notions en jeu.

- **La mobilisation des concepts en mécanique :**

Cette stratégie est en rapport avec l'élargissement de champ conceptuel. P1 introduit des concepts[133] appartenant au champ de la mécanique. Deux concepts mécaniques ont été identifiés dans le début de la séance : la caractérisation du mouvement d'un solide rigide en translation et la relation de Chasles.

Le premier est énoncé par P1 en relation au choix de l'origine mesure :

> Seq1SS1-P1-16 : […] qu'est-ce que c'est qui te matérialisait ton origine mesure, parce que quand on dit que la machine est zéro, ok, ça affiche un zéro à l'écran, mais c'est quoi qui est à zéro ? C'est tout un solide, donc il va falloir que je matérialise le déplacement du solide par le déplacement d'un point, donc je veux choisir un point, celui que je veux […].

Ce concept est repris un peu plus tard (Seq1SS1-P1-19). P1 continue avec le choix de ces points dans le cas d'un tour, et de l'usinage d'une pièce versus celui d'une série de pièces.

[133] Ces concepts appartenant au champ de la mécanique peuvent être qualifiés de concepts scientifiques dans la définition développée par Vidal-Gomel et Rogalski (2007, pp 61-62), parce que son champ de validité est plus important.

Cela correspond avec l'élargissement de la notion du **PREF**. En effet, le **PREF** est le vecteur qui va « de l'origine mesure à l'origine pièce » (Seq1SS1-P1-16). Cela permet d'introduire les différents vecteurs de la relation de Chasles, deuxième concept mécanique identifié :

> Seq1SS1-P1-16 : « Donc si on reste, avec l'origine NUM, on disait que pour aller de l'origine mesure jusqu'à l'origine pièce ça c'était le vecteur PREF et que pour aller, de l'origine pièce jusqu'à l'origine programme, ça c'est le vecteur DEC. Et donc je vais de mon origine mesure à mon origine programme, je fais PREF plus DEC et là, il y a pas de problème. »

Ces deux stratégies, mobilisées par l'enseignant, ont pour objectif d'élargir le champ conceptuel en s'appuyant à la fois sur l'expérience des étudiants et sur des concepts en mécanique.

- **L'exemple :**

La séance continue, et P1 déploie une autre stratégie. Les notions sont introduites par P1 à l'aide d'une situation problème. L'entretien post séance permet d'éclairer le choix de cette stratégie :

> ETP1PSS1-P1-2 : « […] Au départ on a repris des notions qu'ils connaissaient, manifestement qu'ils avaient oubliées, c'est pour ça qu'il a fallu faire les exemples au tableau parce que j'arrivais pas à les faire accrocher, alors qu'ils avaient déjà fait ça. […] »

Selon P1, les stratégies mobilisées jusqu'à l'heure n'ont pas suffi pour « les faire accrocher », alors il introduit un exemple. Il s'agit de calculer les valeurs des vecteurs **PREF** et **DEC** à partir d'un positionnement donné de l'ensemble machine-outil-pièce. P1 mobilise les deux stratégies énoncées précédemment en même temps. Il insiste sur le mouvement d'un solide rigide en translation – concept mécanique - (Seq1SS1-P1-19) et s'appuie sur l'expérience des étudiants :

> Seq1SS1-P1-19 : « […] vous vous rappelez les axes ? Dans quel sens ? »

Il interroge ainsi les étudiants sur les différents axes et leurs sens. Comme les étudiants échouent dans leurs réponses (Voir Seq1SS1-E2,3-20, 22 et 24), P1 commente :

> Seq1SS1-P1-25 : « Non ?, oui, je vous ai dit que c'était là où il y avait la plus grande longueur ↑↑, […] »

Par la suite P1 introduit la notion de norme ISO 841 (NF Z68-020) afin de préciser les directions des axes de la MOCN.

A partir du dessin proposé au tableau P1 interroge les étudiants sur la valeur du vecteur **PREF** selon chacun des axes X, Y et Z. Il pointe la prise en compte de la longueur et du diamètre du palpeur dans le calcul (Seq1SS1-P1-25), puis il avance un obstacle épistémologique :

> Seq1SS1-P1-35 : « […] Donc l'erreur classique est de se perdre dans les signes. Classiquement ça veut dire qu'on peut mettre -20 ici à la place de 20, alors que le -20 je l'ai le déjà mis ici, on peut pas le mettre deux fois, d'accord ? »

Il insiste sur les signes des vecteurs dans la somme vectorielle, en relation avec la longueur et le diamètre de l'outil dans le calcul du **PREF**.

Pendant la construction de la réponse, l'enseignant P1 laisse du temps aux étudiants E1, E2 et E3 pour qu'ils réalisent les calculs nécessaires pour évaluer le **PREF** dans chacun des axes. P1 leur demande ensuite sur les valeurs calculées. Les réponses des étudiants ne le satisfont pas. Il conclut par une explicitation au tableau de la réponse :

> Seq2SS1-P1-49 : « […] donc j'ai mon PREF Z qui va me faire de moins 20 plus 200 plus 150 porté par Z, ça va ça ? »

Le premier moment finit ainsi avec un exemple (exercice pratique) permettant à P1 de réintroduire les notions sous-jacentes à l'activité. Les échanges de ce moment de la correction de l'exercice sont abordés ci-après par l'analyse des stratégies langagières.

- **Les stratégies discursives**

Dans le discours de P1 tout au long des explications sur les notions, des stratégies, cette fois-ci relatives aux modalités discursives ont été identifiées.

La première concerne *les oppositions*, entre pièces unitaires et série de pièces et entre machines outils conventionnelles et machines outils à commande numérique.

La première opposition, pièce unitaire versus série de pièces, est introduite par P1 comme exemple pour le choix des points d'origine en fonction de la spécificité de la situation et ceci à deux reprises (Seq1SS1-P1-8, Seq1SS1-P1-16). Voyons un exemple :

> Seq1SS1-P1-16 : « […] Il y n'aura pas une solution qui aura tous les avantages, mais en fonction de ce que vous voulez faire, vous choisissez la solution qui comporte le plus d'avantages pour vous. Si vous faites une pièce unitaire, avec un seul outil, il faut pas s'embêter à faire le PREF entre la butée et la tourelle. Faites le PREF en bout d'outil et sur votre pièce et ça ira très bien comme ça. Si vous faites une série de pièces qui utilise cinq outils, ça serait pas raisonnable. »

La deuxième opposition, entre machines conventionnelles et MOCN, sert d'abord pour P1 à introduire le POM (Seq1SS1-P1-8) et ensuite à établir une approche historique qui justifierait l'apparition de l'origine pièce (Seq1SS1-P1-16) et donc du vecteur DEC, en relation au contexte professionnel et au passage d'une machine conventionnelle à une machine à commande numérique.

La deuxième stratégie langagière est identifiée à partir des « marqueurs du discours comme indicateurs langagiers privilégiés » (Rogalski, 2006b, p 89). Nous avons limité l'analyse à l'étude de l'utilisation de ces marqueurs pour illustrer l'extraction des enjeux des savoirs

d'une situation. Les marqueurs privilégiés par l'enseignant sont relatifs à la description d'une situation permettant d'introduire les enjeux de savoirs associés. Nous avons identifié deux marqueurs : « quand » et « si » employés par l'enseignant.

L'adverbe de temps « quand » apparaît 33 fois dans le premier moment du discours de P1. Il permet de situer les différentes notions avec une activité précise. L'exemple suivant permet d'illustrer cette réflexion :

> Seq1SS1-P1-8 : « […] *quand* vous êtes sur le CN, vous travaillez comme sur une machine conventionnelle. […] *Quand* vous êtes sur la conventionnelle vous allez tangenter […]. Alors ça peut être fait, *quand* j'ai une pièce unitaire pourquoi ne pas aller toucher la pièce et voilà j'ai mon zéro […]. *Quand* j'ai une série de pièces, […]. »

L'utilisation de « quand » permet à P1 de comparer deux activités qui se ressemblent : sur machine CN et conventionnelle, et d'appliquer une notion, le choix d'une origine, dans deux situations différentes : l'usinage d'une pièce unitaire et d'une série de pièces. « Quand » permet à P1 de situer l'activité: « quand je dis (a la machine) PREF », « quand on passe sur SIEMENS® », « quand on est à zéro », « quand je vais faire le POM », « quand je démarre la machine », etc.

L'adverbe « quand » apparaît combiné avec la conjonction « donc » pour introduire une conclusion relative à ce qui a été dit précédemment, tout en caractérisant la situation dans laquelle cette conclusion est valable. Cette formulation « donc […] quand » (ou « quand […] donc ») a été identifiée sept fois au long du discours :

> Seq1SS1-P1-12 : « […] sur les vielles machines, quand je coupe le courant j'ai perdu toutes les références, *donc quand* je rallume, il faut que je remets toutes les références à la machine ».

> Seq1SS1-P1-36 : « […] L'erreur classique c'est de se perdre dans les signes […] *donc quand* vous avez fait vos PREF sur les différents axes, je pense que ça vaut la peine après de renvoyer la machine en XY à zéro pour voir si vous êtes bien sur le point […].

La conjonction de subordination « si » est utilisée dans la fonction relative au conditionnel, permettant de délimiter les conditions d'une classe de situations, «si la vis se bride un petit peu ». La conjonction « si » a été identifiée neuf fois dans cette fonction sur un total de quarante quatre citations. Les extraits suivants montrent la délimitation des conditions des classes de situations énoncées par P1 :

P1 décrit ici les différentes sources d'erreurs qui provoquent une déviation dans la position du plateau.

> Seq1SS1-P1-14 : «[…] *Si* la vis se bride un petit peu, *si* le plateau colle un petit peu, si enfin, *si* j'ai forcement des erreurs quelque part, la position de codeur ne donne pas la position exacte du plateau […] ».

Une autre situation concerne le choix d'un point comme origine :

> Seq1SS1-P1-16 : « […] *Si* vous prenez la pointe d'un outil, le gros avantage c'est que tout d'un coup, je sais que cet outil n'a plus de longueur, donc j'ai plus besoin de faire la longueur d'outil, l'inconvénient, c'est que *si* je casse cet outil j'ai perdu ma référence, // d'accord ? […] »

Dans ce dernier exemple, le choix d'un point dans une position déterminée (pointe de l'outil) est décrit comme dépendant de la situation. Dans le cas d'une situation de dysfonctionnement, (l'outil se casse) les conséquences vis-à-vis de ce choix sont, selon P1, à prendre en compte.

La stratégie d'appui sur l'expérience est en lien avec les stratégies langagières identifiées chez l'enseignant à travers les marqueurs « quand » et « si ». Ces deux marqueurs contribuent à délimiter les situations que « connaissent déjà » les étudiants, permettant à P1 d'utiliser leurs expériences afin de construire les notions sous-jacentes à l'activité.

D'autres marqueurs ont été identifiés : « donc » (41 fois), « parce que » (11 fois), « par contre » (5 fois), « en principe » et « bon » (4 fois), « voilà » et « alors » (3 fois).

Le marqueur « donc » est omniprésent dans le discours de P1 et est utilisé pour deux fonctions.
La première consiste à mettre un terme l'explication sur une notion. Cela permet ainsi d'établir des moments de transition dans l'introduction de notions dans le déroulement chronologique de la séance[134]. Ces moments de transition sont souvent associés avec des questionnements auprès des étudiants sur leurs expériences :

> Seq1SS1-P1-8 : « […] *Donc* nous on va se limiter, dans un premier temps, à ces repères NUM, et vous rappelez, […] vous parlez d'origine mesure ou d'origine machine ? »
>
> Seq1SS1-P1-10 : « […] *Donc* ça devrait pas être de POM mais plutôt de POC. Vous vous rappeler aussi comme ça c'est fait, pour quoi j'ai besoin d'aller sur les POM ? […] »
>
> Seq1SS1-P1-14 : « […] *Donc* on va dire que dans un premier temps, on va fonctionner comme sur une vieille NUM®, et après on basculera sur le SIEMENS®. Est-ce que vous vous rappelez, comment vous faisiez pour positionner l'origine programme ? […] »

Les transitions peuvent se situer au fil du discours, ou être associées à des interpellations des étudiants (recherche du maintien de l'attention ?) sans attente de réponse :

> Seq1SS1-P1-12 : « […] *Donc* quand je rallume, il faut que je remette toutes les références à la machine […] *d'accord* ?
> Seq1SS1-P1-12 : « […] *Donc* quand on va chercher l'origine de codeur, c'est comme si sur ma règle quelque part j'avais un repère, […] *ok* ?

[134] Cette fonction peut être reliée à la chronogenèse, puisque concerne l'introduction des nouveaux objets des savoirs.

Seq1SS1-P1-14 : « […] *Donc* il faut que je le dise à la machine quand est-ce que je regarde cette troisième fenêtre ici, *ok* ? »
Seq1SS1-P1-14 : « […] *Donc*, quand je me déplace, on bascule un capteur, je passe de zéro à un et quand le capteur est à un, on sait qu'à partir de ce moment là il va falloir revenir chercher le zéro du codeur, qu'il le cherche pas n'importe où, qu'on sache sur quel tour il faut le choisir, *d'accord* ?
Seq1SS1-P1-14 : « […] *Donc* avec ça, on sait se poser dans le bord mais il faut se dégager un petit peu pour être sure d'être au delà de ce capteur, […] *d'accord* ?
Seq1SS1-P1-14 : « […] *Donc* pratiquement on met le codeur, c'est juste / c'est un accouplement classique et quand on a monté le codeur, […], *d'accord* ?
Seq1SS1-P1-14 : « […] *Donc* je saurais où il est mon zéro mesure, *donc* après avoir initialisé le zéro sur chacune des règles, je vais aller positionner mon repère en x, y, z par rapport au zéro de la machine, *d'accord* ?
….

Ces formes qui consistent à introduire par un « donc », suivie par une explication et conclure par une sollicitation (verbale ou assertive) des étudiants, peuvent être considérées comme un pattern d'utilisation des marqueurs discursifs (Rogalski, 2006b, p 91). La forme de ce pattern est : *« donc […] d'accord ? »*. Il est présent tout au long de ce premier moment de la séance.

Il est également intéressant d'analyser les moments d'interaction entre étudiant et enseignant. Ceux-ci concernent par exemple une sollicitation verbale des étudiants qui doivent répondre à la question posée par P1. P1 s'appuie sur leurs réponses, souvent en les répétant pour effectuer ensuite des précisions, élargir des explications etc. Les trois exemples suivants illustrent ce propos :

Un premier exemple est relatif à un élargissement du champ conceptuel des étudiants :

Seq1SS1-P1-6 : « […] vous parlez d'origine mesure ou d'origine machine ? »
Seq1SS1-E2-7 : « Machine »
Seq1SS1-P1-8 : « Machine, *bon, en principe*, / il y a pas d'origine sur une machine / […] *En principe* l'origine mesure et au petit m, souvent on fait la confusion entre le Om et le OM ; le OM c'est ce qu'on appelle l'origine machine et le Om c'est l'origine mesure, que vous, vous appelez l'origine machine. »

Dans ce cas, la réponse d'E1 (attendu par P1) permet à P1 d'introduire une précision.

Seq1SS1-P1-10 : « […] Vous vous rappelez aussi comme ça c'est fait, pourquoi j'ai besoin d'aller sur les POM ? Quand je démarre la machine, pour quelle raison je dois passer par les POM ?
Seq1SS1-E1, E2, E3-11 : « […] pour la mesure de l'écart, pour l'initialisation
Seq1SS1-P1-12 : « *Voilà*, sur les vieilles machines, j'avais pas un codeur absolu, j'avais un codeur incrémental, […] »

Cette réponse satisfaisante permet à P1 d'expliciter le fonctionnement de la machine en relation avec la notion du POM et la procédure.

Seq1SS1-P1-29 : « *Oui*, même tu mets un bout d'acier dans une pince, et tu descends, simplement pour savoir à quel moment tu touches, si tu mets pas de cales, comment tu sais quand tu touches ?
Seq1SS1-E3-30 : « Quand on touche sur la pièce »
Seq1SS1-P1-31 : « *Oui mais*, imaginons que j'enlève la cale, là c'est mon montage, je descends jusqu'au niveau de montage, quand est-ce que je sais que je touche le montage ? »
Seq1SS1-E3-32 : « Ah oui ! »

Seq1SS1-P1-33 : « *Oui*, tu peux essayer, […] c'est beaucoup plus simple de mettre une cale, et je regarde quand est-ce que je passe juste »
Seq1SS1-E2-34 : « On descend juste »
Seq1SS1-P1-35 : « *Voilà* on descend juste./ ça c'est la solution la plus simple, ça marche bien, d'accord ? »

C'est l'adverbe d'affirmation « oui » combiné à des marqueurs de restriction, comme la conjonction « mais » qui permet à P1 d'effectuer une restriction de la réponse d'E3 : « *oui mais* », « *oui tu peux essayer* ».

Le terme « voilà » est utilisé comme marqueur d'une réponse correcte dans deux des trois moments où elle apparaît.

L'extrait suivant correspond à la correction de l'exercice proposé aux étudiants. Il permet d'identifier des marqueurs utilisés dans les interactions entre étudiants et enseignant. L'extrait se situe entre les tours de parole Seq1SS1-P1-36 et 49 :

-P1 : « […] Comme PREF ça vous fait combien ? »
-E1, E2, E3 : « 120 en Z »,
-E3 : « 70 »
-P1 : « 70 ? Essayez de le dessiner, et puis essayez de le calculer//[…] Dessine ton vecteur PREF, quand tu l'auras dessiné tu vas le voir tout de suite. »
-E1 : « C'est le PREF d'Y vous avez dit ? »
-P1 : « *En fait* c'est le PREF de Z, parce que là, c'est vrai qu'on le voit pas bien là haut, ça c'est Z // PREF Z vous êtes d'accord que le vecteur part d'ici pour aller vers là ? »
-E2 : « C'est moins 150 »
-P1 : « *non*, là je sais pas, c'est justement ça que je veux calculer, la définition du PREF en Z »
-E2 : « 150 »
-P1 : « 150 c'est tout à l'heure quand la broche était ici ça affiche Z zéro, quand le bout du palpeur touche la cale, il s'affiche sur le compteur Z égal à -150, effectivement la question, c'est quoi 150 ?, ça va de où à où ? »
-E3 : « (question sur Om) »
-P1 : « De Om jusqu'au bout du palpeur ? *non* ? »
-E3 : « (réplique inintelligible) »
-P1 :« S'il m'affiche 150 c'est qu'il s'est déplacé 150 »
-E1 :(fait un geste pour signaler la direction)
-P1 : « *Exactement*, que 150 c'est de là à là. De là à là, j'ai 150, puisque c'est le déplacement de la broche, […] PREF il fait 150, 200 et 20, 370 et il va vers là-bas donc il est en sens moins, puisque ça c'est mon vecteur, *d'accord ?, donc* j'ai mon PREF Z qui va me faire de moins 20 plus 200 plus 150 porté par Z, *ça va ça* ?// »

Il semble que la répétition des réponses des étudiants est utilisée pour indiquer que la réponse n'est pas correcte et appelle, vers les étudiants, des précisions ou des modifications. Elle est alors isolée d'autres marqueurs de réponse correcte (comme « voilà » ou « exactement ») ou de marqueurs de réponse incorrecte (« non »), ces derniers étant suivis directement d'une explication ou d'une précision données par l'enseignant. La correction de l'exercice par P1 s'effectue au tableau.

Pour conclure, ce premier moment a été étudié selon deux niveaux d'analyse.

Un niveau d'analyse des synopsis de séance a permis d'identifier trois stratégies dans la pratique enseignante. La première s'appuie sur l'expérience préalable. La deuxième consiste à introduire des concepts en mécanique, stratégie que nous rapprochons d'un essai d'élargissement du champ conceptuel. La troisième stratégie, porte sur la proposition d'un exercice afin d' « enrôler (les étudiants) dans leur place d'(étudiants), de sorte qu'ils s'engagent dans la réalisation des tâches que l'enseignant leur propose » (Rogalski, 2006b, p 87).

Un autre niveau d'analyse s'appuie sur les marqueurs privilégiés dans le discours de l'enseignant et permet d'approfondir les trois stratégies identifiées.

Concernant la stratégie d'appui sur l'expérience, une modalité d'intervention de l'enseignant privilégie l'extraction des enjeux des savoirs de la situation. Cette modalité d'intervention est illustrée à partir de deux marqueurs : « quand » et « si », omniprésents dans le discours de P1, lui permettant d'« amener » les étudiants à une situation (qu'ils connaissent déjà) et d'établir les conditions : type de machine, les erreurs, les mouvements, la position, etc.

L'analyse d'autres marqueurs très présents dans le discours a permis d'inférer l'existence d'un certain pattern dans le discours de P1, associé à l'utilisation de la structure « *donc* […] *d'accord* ? » dont il se sert comme transition dans l'introduction des notions sous-jacentes à la situation.

Enfin, l'analyse des interactions entre les étudiants et l'enseignant au moment de la correction de l'exercice met en avant une autre stratégie langagière dans l'évaluation des réponses des étudiants, par la répétition.

Le deuxième et le troisième moment de la séance ont des caractéristiques différentes : l'enseignant et les étudiants sont désormais dans l'activité, d'abord par la démonstration de l'activité effectuée par P1, ensuite par la réalisation effectuée par les étudiants. Ces moments sont relatifs à deux situations : celle où le simulateur est utilisé en mode fraisage et celle où il l'est en mode tournage.

10.2.1.2 La démonstration de l'activité

Il est intéressant de regrouper les données relatives à ces deux moments (simulateur-fraise et simulateur-tour) afin de les analyser ensemble. Même si les deux machines sont deux objets

techniques distincts, la mise en fonctionnement et le réglage relèvent d'une même classe de situations. Les différences entre les deux objets techniques sont les suivantes :

- Le tour n'a pas le troisième axe (l'axe Y). Pour calculer le vecteur **PREF** la procédure est donc plus rapide à réaliser.
- Pour atteindre le point du **PREF**, le tour ne dispose pas d'un palpeur. Cette procédure est alors effectuée par l'utilisation de l'outil et par la médiation de cales (qui ont pour fonction la protection de la pièce et de l'outil) dans un tâtonnement.

La première démonstration concerne l'utilisation du simulateur comme fraiseuse. Sa durée (14 minutes) est importante mais rappelons que le premier moment de la séance (analyse précédente des marqueurs du discours) a une durée de 40 minutes, donc environ 2,8 fois plus. Pour ce deuxième moment, nous disposons de l'archive d'enregistrements des appuis sur les touches du simulateur et des interactions verbales entre l'enseignant et les étudiants[135]. P1 se situe face à un ordinateur et les étudiants autour de lui regardent la démonstration et écoutent les explications[136]. Comme précédemment, l'analyse est développée suivant deux niveaux : celui des stratégies et celui des marqueurs discursifs. Il s'agit aussi d'identifier des stratégies différentes de celles déterminées auparavant. L'enseignant étant ici dans l'activité (objectif de la séance). P1 effectue cette démonstration selon deux stratégies principalement :

- **La description de la procédure**

Il s'agit de montrer aux étudiants « comment ça se conduit » (Seq1SS1-P1-49). La description de la procédure est caractérisée par des énonciations et des justifications.

> Seq2SS1-P1-56 : « […] j'ai fait les POM que sur un seul axe, je l'ai fait en Z, maintenant je vais le faire aussi en Y, […], je l'ai fait en Y je fais le faire en X, X plus, voilà, ou quatre plus. Là je suis allé chercher l'origine sur les quatre axes, je les ai trouvé […] ».

P1 donne des explications sur l'ensemble des actions formant la procédure.

Dans l'exemple suivant, les relations causes-conséquences dans les actions visées par la procédure sont justifiées :

> Seq2SS1-P1-56 : « […] si je veux l'envoyer au (0,0,0) il faut que je rentre une ligne de programme, si je rentre un programme, il faut pour lui que je ferme impérativement la porte, je peux pas me déplacer en automatique tant que la porte n'est pas fermée par mesure de sécurité, donc on va venir fermer la porte, voilà. »

Cette stratégie dans la description de la procédure, consistant à « tirer du fil » pour expliciter les raisons des actions est utilisée deux autres fois par P1 :

[135] Les archives .did sont disponibles dans l'annexe 3 document 9
[136] Voir annexe 2, synopsis 12

> Seq2SS1-P1-58 : « […] pour ça il faut d'abord prendre un palpeur, pour pouvoir prendre un palpeur il faut que je soit en manuel. Je me mets en mode manuel, et je prends le palpeur ici. Ok ? […] »
> Seq2SS1-P1-58 : « […] si je veux être parfaitement perpendiculaire, je lui dire de tourner à 180 en B, je vais lui dire de tourner G0G52B180, LF et par cycle. […]»

En relation avec l'expérience des étudiants, une seule référence directe à été trouvée : « Sur la fraiseuse nous on le faisait avec des cales,» (Seq2SS1-P1-60). Cependant, la mise en œuvre du discours de l'enseignant permet de penser qu'il est en train de parler à des étudiants ayant une expérience préalable, par exemple, quand il énonce la spécificité de la machine visée: « sur cette même machine (Seq2SS1-P1-56) ».

- **L'appui sur le simulateur**

P1 alterne des moments de description de la procédure avec des références aux signaux de l'instrument de médiation : le simulateur. Ainsi, il s'appuie sur celui-ci pour « faire avancer » la procédure. Nous identifions des explicitations qui permettent d'établir un diagnostic. Quelques exemples :

1. Le simulateur (comme la machine) avertit que les POM ne sont pas faites :

   > Seq2SS1-P1-56 : « […] *ça clignote* toujours parce que j'ai fait les POM que sur un seul axe, je l'ai fait en Z […] Là je suis allé chercher l'origine sur les quatre axes, je les ai trouvé, donc *ici ça clignote plus* […] ».

2. La lecture des valeurs des avances dans le simulateur permet de connaître le positionnement :

   > Seq2SS1-P1-56 : « […] alors si je diminue un peu les avances, […], *ici je vois le delta, ici ce qui me reste à faire, là les valeurs*, […], ici je me positionne c'est un alt X, voilà, voilà exactement où je suis […] ».

3. L'utilisation du palpeur est en jeu. Une différence par rapport à l'utilisation de la machine est énoncée :

   > Seq2SS1-P1-60 : « […] Sur la fraiseuse nous on le faisait avec de cales, on fait avec un palpeur quand la bille vient toucher la pièce, ça ferme le contact, et ici, ça s'allume. J'ai une pile, voilà je ferme le contact et donc ça s'allume quand je viens toucher […] ».

4. Le diagnostic d'une situation de dysfonctionnement, dans laquelle le palpeur s'est cassé est posé :

   > Seq2SS1-P1-64 : « […] Ah si ! J'ai plus ma puissance, mon palpeur est cassé. Alors quand il y a plus le bruit, la machine s'arrête ça fait bip […] ».

- **L'introduction des notions sous-jacentes à la tâche :**

Pendant la phase de démonstration, avec la fraiseuse, des notions sont introduites. On peut identifier une notion déjà apparue[137], relative au sens des axes des éléments mobiles de la

[137] Voir paragraphe 10.2.1.1, lors de l'exemple

machine. On peut noter que c'est la seule fois durant la démonstration que P1 pose une question aux étudiants (Seq2SS1-P1-58 :60).

Concernant les autres notions introduites, on peut parler d'un passage à un niveau davantage procédural avec des notions liées à l'utilisation de la machine particulière. La fermeture de la porte (Seq2SS1-P1-56), l'introduction manuelle de données (Imd) (Seq2SS1-P1-56), les fonctions CN associées aux différentes situations (Seq2SS1-P1-56) en constituent quelques exemples.

Dans le cas de la démonstration avec le simulateur en mode tour, la situation est plus courte (4 minutes). Les stratégies déployées par l'enseignant sont les mêmes, s'y ajoute la référence à la démonstration effectuée avec le simulateur en mode fraiseuse (Seq5SS1-P1-313).

- **Les stratégies langagières :**

Dans le premier moment l'enseignant s'appuie sur l'expérience des étudiants pour faire ressortir les notions sous-jacentes à la tâche. Cela permet à P1 d'élargir le champ conceptuel de la situation visée. Pour cela il faut pouvoir se représenter l'activité, et les marqueurs du discours mobilisés par l'enseignant permettent de délimiter les conditions de l'activité. Dans ce deuxième moment de démonstration, l'enseignant est « dans » l'activité visée par la formation. L'objectif est de montrer une procédure.

Afin de pouvoir comparer la densité des différents marqueurs dans les deux moments, nous partons de l'hypothèse que si on prolonge le temps, avec la même activité en cours, la stratégie langagière restera similaire. Ainsi, nous avons d'abord effectué le rapport entre les durées des deux moments : les 40 minutes du premier moment et les 14 minutes du deuxième moment. Le résultat est d'environ 2.85. En multipliant cette valeur par la densité de marqueurs relatifs au deuxième moment, on obtient des valeurs de fréquence des marqueurs aux fins de comparaison. Le tableau suivant regroupe ces résultats :

Tableau 14 : Présence des marqueurs de discours de P1 dans les deux premiers moments

Marqueur de discours	**Présence dans le premier moment : l'explication générale des notions en jeu (40 min)**	**Présence dans le deuxième moment : la démonstration de l'activité (14 min)**	**Présence dans le deuxième moment si la durée était prolongée (40 min)**
Donc	37	21	*59*↑
Si	44	7	*20*↓
Quand	34	13	37
D'accord	13	4	11
Parce que	9	8	*22*↑

Bon	4	4	*11*↑
Alors	6	7	*20*↑
Voilà	3	7	*18*↑

L'hypothèse posée appelle à prendre ces valeurs avec beaucoup de précaution. L'intérêt de ce calcul consiste à s'interroger sur la variation de la densité de certains marqueurs en relation avec des changements dans le discours de P1 (situation, contextes, moments). Ces changements semblent être en relation avec les différences dans les stratégies choisies par P1 dans les deux moments de la séance.

- L'augmentation de densité du marqueur « donc » :

Lors du premier moment, nous avons identifié les fonctions associées dans l'utilisation du « donc ». Une des fonctions était la reprise, permettant la transition dans l'introduction des notions. Une autre fonction était relative à l'identification dans un pattern de sollicitation des étudiants.

Lors du deuxième moment, ces deux fonctions ont pu être identifiées. Cependant, une nouvelle fonction dans l'utilisation du « donc » prime désormais ; il s'agit d'une fonction implicative, concernant l'activité (en cours) de l'enseignant qui effectue une démonstration[138]. Voyons quelques exemples :

> Seq2SS1-P1-56 : « […] Et là il s'est arrêté *donc* ça s'était éteint, *donc* ce qui est sur le point de POM en Z, ça clignote toujours parce que j'ai fait les POM […]. Là je suis allé chercher l'origine sur le quatre axes, je les ai trouvé, *donc* ici ça clignote plus, *donc* ça veut dire qu'il sait où se trouvent les différentes origines. […] »

Cette fonction est très présent ici, en relation avec les deux stratégies énoncées. Ainsi, pendant l'introduction des notions relatives à la procédure, le « donc » permet d'établir une relation directe de cause à effet. Pendant l'appui sur le simulateur, le « donc » semble établir une relation entre l'action et les signaux renvoyés par le simulateur comme conséquence de ces actions.

- La diminution du marqueur « si » et le maintien de « quand » :

Le changement de l'activité de formation a eu un impact sur le type de discours. Le premier moment était caractérisé par ce qu'on avait nommé une « extraction des notions de la situation », et l'intérêt était posé sur la fonction du marqueur « si » consistant à délimiter les

[138] Rogalski (2006b, p 95) notait cette même fonction en relation avec l'activité mathématique des élèves.

conditions d'une situation (au sens d'une classe des situations). Nous l'avons retrouvé dans ce deuxième moment quand l'enseignant introduit les procédures dans l'activité :

> Seq2SS1-P1-56 : « […] *si* je veux l'envoyer au (0,0,0) il faut que je rentre une ligne de programme, *si* je rentre un programme, il faut pour lui que je ferme impérativement la porte […] »

Cependant il semblerait que le fait que l'enseignant n'ait pas besoin de « représenter » la situation aux étudiants, serait à l'origine de la diminution relative de ce marqueur.

- Les autres marqueurs : parce que, bon, alors, voilà

Les nombres d'occurrence de ces marqueurs sont en augmentation dans le discours de P1 durant ce deuxième moment.

Le marqueur « parce que » apparaît dans les trois fonctions identifiées par Moeschler (d'après Rogalski, 2006b, p 91) : dans sa fonction relative à l'avancée du discours (« ça va pas me simplifier la vie […], *parce qu*'après je vais pas pouvoir», Seq2SS1-P1-64) ; dans sa fonction d'indicateur de la logique de l'interaction (« je vous dirai la valeur exacte, *parce qu*'à force je la connais », Seq2SS1-P1-64) ; dans sa fonction de connecteur logique (« ça clignote toujours *parce que* j'ai fait le POM que sur un seul axe », Seq2SS1-P1-56).

Le marqueur « bon » est essentiellement utilisé quand P1 se rend compte qu'il doit modifier la procédure parce que le simulateur ne marche pas correctement. L'impact de ce changement implique une modification de la procédure et de l'enjeu de savoir, ce qui amène P1 à pointer la procédure « dans la réalité » et la procédure « remaniée » que les étudiants vont devoir mettre en œuvre (voir Seq2SS1-P1-64). Le marqueur « bon » indique hésitation, et peut être un désaccord.

Le marqueur « alors » très présent dans le début de ce deuxième moment (quatre fois, voir Seq2SS1-P1-54) est souvent une marque temporelle de futur immédiat (Rogalski, 2006b, p 90).

« Voilà » prend un rôle intéressant dans ce deuxième moment. Il a été identifié comme un marqueur conclusif fort (Rogalski, 2006b, p 94). Il semblerait que l'utilisation de ce marqueur soit liée au fait que *l'enseignant exécute l'activité lui-même*. Le rôle conclusif de voilà est lié à la (sa) réussite dans l'action :

> Seq2SS1-P1-56 : « […] donc on va venir fermer la porte, *voilà.* »
> Seq2SS1-P1-56 : « […] ici je me positionne c'est un alt X, *voilà*, voilà exactement où je suis »
> Seq2SS1-P1-60 : « […] *voilà* je ferme le contact »

Il est important d'insister sur le fait que nous pouvons identifier les actions effectuées par l'enseignant grâce aux traces recueillies pendant la réalisation de la démonstration (l'archive .did).

L'autre fonction associée à ce marqueur est celle d'une réponse correcte d'un étudiant. Ce marqueur est toujours lié à une réussite dans l'action :

> Seq2SS1-E2-57 : « Dans le coin ? »
> Seq2SS1-P1-58 : « *Voilà,* dans le coin […] »

Dans le cas de l'utilisation du simulateur comme un tour, nous notons l'importante présence de deux marqueurs, « voilà » (3 fois) et « alors » (2 fois), dans une durée de temps beaucoup plus limité (environ 4 minutes).

En conclusion, l'analyse de l'activité de l'enseignant pendant le deuxième moment a été effectuée en deux étapes.
D'abord pour identifier les stratégies développées par cet enseignant dans une situation de démonstration. Ainsi nous avons pu repérer l'explicitation de la procédure et l'utilisation effective du simulateur comme les deux stratégies privilégiées. Ces stratégies permettent une approche des notions en jeu en les caractérisant comme étant davantage « procédurales », relevant de la pratique, par rapport aux notions mises en jeu par l'enseignant dans le premier moment.
Ensuite, l'analyse a porté sur les liens entre les marqueurs de discours et la stratégie langagière associée. Ainsi, le passage de la « représentation » de l'activité à la « démonstration » de l'activité est caractérisé par un changement dans l'utilisation des marqueurs, notamment par une diminution du marqueur « si » dans sa fonction de délimitation et une augmentation du marqueur « voilà ».

10.2.1.3 La médiation dans l'activité des étudiants

Le troisième moment de l'activité de l'enseignant porte sur la médiation entre les étudiants et l'objet de savoir, par l'utilisation de l'instrument simulateur.
Dans la médiation de l'enseignant, les interactions verbales avec les étudiants sont des moments privilégiés et constituent la cible de cette analyse. Les étudiants sont chacun face à un simulateur et l'enseignant se déplace entre les différents postes.
Le premier grain d'analyse porte sur une approche quantitative des interactions verbales. Nous avons distingué les interactions verbales entre enseignant et étudiants (P1-E), et

enseignant avec la classe, avec l'hypothèse que ces dernières concernent davantage des aspects relevant de l'organisation, des consignes, etc.

Concernant les interactions verbales P1-E, nous notons le numéro des échanges P1-E et le sujet débutant l'interaction verbale, soit P1, soit E. Nous désignons par « n » (notion) les échanges concernant les notions abordées lors du premier moment d'explication générale, par « p » (procédure) les notions traitées dans le deuxième moment de démonstration et « o » (organisation) les interactions concernant les échanges sur les aspects organisationnels. Ces critères permettent l'élaboration de tableaux[139] qui constituent la base de cette analyse.

Afin de compléter ces tableaux, quelques données relatives aux durées de parole lors des échanges ont été relevées. Les échanges verbaux entre E1 et P1 ont duré 8 min et 20 secondes, ceux entre E2 et P1 9 min et 45 secondes, et ceux entre E3 et P1 5 min et 33 secondes.

Quant à la distribution du temps de parole, nous observons deux modalités différentes :

- Une distribution « courte » correspondant aux situations dans lesquelles les échanges P1-E durent moins de 30 secondes.

C'est le cas pour la clarification d'une procédure (catégorie « p ») : l'utilisation des boutons (Seq2SS1-E2-68, Seq2SS1-E3-78, Seq2SS1-E1-82), diagnostic de P1 sur l'état d'une procédure développée par les étudiants (Seq2SS1-E1-91).

- Une distribution « moyenne », correspond aux temps de parole de plus de 30 secondes.

Les interactions sont relatives aux obstacles dans l'activité par rapport aux notions en jeu : le cas de Seq2SS1-E1-118 avec la fermeture de la porte, ou la situation de dysfonctionnement avec la butée électrique (Seq2SS1-E3-94) ou la casse du palpeur (Seq2SS1-E2-128). L'enseignant peut introduire des notions « enjeu » de l'activité (E1-142, E2-177 ou E3-191).
L'analyse de ces types d'utilisation du temps de parole, correspond aux modalités de médiation que l'enseignant P1 a mis en œuvre pendant la séance de formation avec simulateur.

- **La gestion des obstacles liés aux notions « enjeu » :**

La fonction G52 est une fonction de la Commande Numérique (CN) permettant de définir que les déplacements sont relatifs à l'origine mesure. L'enseignant énonce cette fonction, pour la première fois, lors de la démonstration :

[139] Disponibles dans l'annexe 4 support 5

> Seq2SS1-P1-56 : « Je vais pas travailler moi par rapport aux origines programme, parce qu'il y a pas de PREF dans la machine, donc je vais travailler par rapport aux origines mesure, travailler par rapport aux origines mesure c'est G52. […] »

Pendant la médiation de l'activité des étudiants, deux instants concernent la gestion de cette fonction CN :

- Une première correspond à une situation identique à celle de la démonstration, dans laquelle les PREFS ne sont pas faites :

> Seq2SS1-P1-142 : « Oui, dix huit, donc là tu es bien, dis lui donc tape le G0, G52 pour dire que tu travailles par rapport aux origines mesure, et B180, LF et départ cycle ok ? »

Dans ce cas, P1 intervient auprès d'E1.

- Une deuxième correspond à une situation qui concerne l'utilisation de la fonction G52 quand les PREFs ont déjà été faites :

> Seq2SS1-P1-177 : « Non, pas G52, parce que maintenant tu as rentré tes PREFs, tu vas travailler par rapport à tes PREFs à toi »

L'utilisation de cette fonction CN n'est plus pertinente puisque les nouvelles origines ont été introduites à partir des PREF et sont désormais la référence.

Ainsi l'utilisation de cette fonction CN dépend des critères liés à l'avancement de la procédure. Avant effectuer le PREF, la référence est l'origine mesure liée au POM, première procédure requise dans la mise en fonctionnement de la machine. Après le PREF, la référence change, elle est représentée par l'origine pièce (ou l'origine programme, si les DECs sont effectués).

Le calcul du vecteur PREF constitue un obstacle pour les étudiants tout au long de la séance de formation avec simulateur. Il est aussi lié à la maîtrise de l'espace (Rabardel & al. 1988, p 108). Lors du premier moment, cette situation a déjà été abordée par P1. Maintenant, certaines situations suggèrent encore la présence de cet obstacle, notamment pour l'étudiant E3 :

> Seq3SS1-P1-191 : « Tu t'en sors ? »
> Seq3SS1-E3-192 : « Pas trop »
> Seq3SS1-P1-193 : « Tu as trouvé ? »
> Seq3SS1-E3-194 : « Oui, […] j'ai relevé »
> Seq3SS1-P1-195 : « Et tu as trouvé combien à la fin ? »
> Seq3SS1-E3-196 : « Moins 283, maintenant je suis en train de faire les calculs, »
> Seq3SS1-P1-197 : « Pourquoi vous faites pas un dessin ? »
> Seq3SS1-E3-198 : « Parce que je suis nul en dessin »
> Seq3SS1-P1-199 : « Oui, mais tu fais un tout petit, pas un vrai dessin mais la position avant, la position après, tu traces le vecteur, et ça va aller. Je pense qu'il faut que tu t'obliges à faire le dessin pour le voir. »
> Seq3SS1-E3-200 : « De toute façon j'ai le xxx »
> Seq3SS1-P1-201 : « Mais non je veux dire, ça, te dire, là, comment je peux te le designer ?, vu dessous, là j'ai l'équerre, là j'ai la pièce, là c'est l'endroit, donc là je suis venu palper, ici. Tout à l'heure quand j'étais à zéro, quand j'étais à zéro j'étais où ?, // j'étais ici, ça c'est mon axe X, là j'étais à zéro, maintenant je suis à je sais plus combien, qu'est-ce que tu as marqué ? »

> Seq3SS1-E3-202 : « Moins 283 »
> Seq3SS1-P1-203 : « Moins 283 ?, mon PREF est de là à là, et débrouille toi tu sais que de là à là il y a ça, tu connais la longueur et le diamètre du palpeur, débrouille toi pour connaître la distance de là à là, et puisque maintenant tu as cette valeur ici. »

Dans la séquence d'actions nécessaires pour établir la valeur du PREF, le point choisi doit être atteint à l'aide d'un palpeur, et les valeurs affichées constituent les références pour ce calcul. Dans la gestion de cette situation, P1 s'appuie sur le dessin technique pour expliquer le vecteur PREF. Cette stratégie a été identifiée dans le premier moment, lors de la mise en œuvre d'un exemple[140].

Affichage d'origines Om/Op

Les machines NUM® ont la possibilité d'afficher par défaut toutes les distances en fonction de l'origine programme. Ainsi, dans le manuel NUM® (paragraphe 4-4), il est indiqué que «la page point courant par rapport à Op est appelée automatiquement à la mise sous tension. Chaque nouvel appui sur la touche « axes » provoque la bascule entre l'affichage en origine programme et origine mesure ». Dans le calcul du vecteur PREF, il faut établir la distance entre l'origine pièce et l'origine mesure, les affichages doivent donc apparaître en fonction de l'origine mesure.

Cette particularité est annoncée par P1. D'abord à E2 :

> Seq3SS1-P1- 115 : « Par contre, il faut pas que tu oublies// tu veux pas avoir la distance par rapport à Op, ici par rapport à Om » »

Ensuite à l'ensemble de la classe :

> Seq3SS1-P1- 116 : « J'ai pas pensé à vous dire tout à l'heure que les valeurs de base sont affichées de base ici par rapport à l'Op comme sur la machine, il faut cliquer là-dessus pour les avoir par rapport à l'origine mesure »

Puis à E3 :

> Seq3SS1-P1- 117 : « Et c'est ici tu recliques, que tu rebascules. »

Enfin à E1 :

> Seq3SS1-P1- 118 : « J'ai oublié de vous dire »
> Seq3SS1-E1- 119 : « Je l'ai vu déjà [….] »

Cependant, plus tard dans la séance, P1 identifie chez E1 un obstacle dans la prise en compte des différentes origines pour le calcul du PREF en relation avec l'affichage des distances par rapport à l'origine mesure ou programme :

> Seq3SS1-P1-190 : « Tu es pas au bon endroit. Regarde. Tu prends des mesures par rapport à Op et il le faut par rapport à Om. »

Tous ces aspects (la fonction G52, le calcul de PREF et l'affichage des distances en fonction de différentes origines) sont liés à une des compétences requises dans l'utilisation des MOCN

[140] Voir paragraphe 10.2.1.1

et énoncée par Rabardel et autres (1988). Ces auteurs signalent l'importance de « gérer en permanence plusieurs systèmes de référence qui doivent être coordonnées entre eux (origine programme, origine pièce, origine machine[141]) […]. La maîtrise de la référenciation, la capacité à coordonner plusieurs référentiels entre eux, apparaissent comme des compétences clé qui, là encore, relèvent du domaine spatial » (ibid., p108).

Nous avons signalé auparavant, comme une des limites dans l'approche développée par la présente recherche, les difficultés dans l'analyse du développement des compétences. La raison énoncée est la courte temporalité. Cependant, cet extrait permet de montrer que certains apprentissages liés au développement des compétences sont initiés dans la formation initiale.

- **La gestion des obstacles didactiques**

Nous avons identifié un obstacle didactique lié à l'utilisation du potentiomètre des avances et un autre obstacle lié à la fermeture de la porte.

Concernant **l'utilisation du potentiomètre**, l'obstacle est caractérisé par un oubli systématique des étudiants lors de l'initialisation du potentiomètre des avances pour initier le mouvement des axes. La conséquence est un blocage de la procédure difficile à identifier.

> Seq2SS1-E1-91 : « Pourquoi il se déplace pas en mode manuel ? Ici il s'est déplacé mais… »
> Seq2SS1-P1-92 : « Parce que tu n'as pas mis le potentiomètre des avances »
> Seq2SS1-P1-93 : « C'est aussi pénible que dans la réalité »

Cet obstacle est lié à la situation de formation avec simulateur.

Dans le cas de **la fermeture de la porte**, cette procédure est d'abord explicitée de manière détaillée lors de la phase de démonstration :

> Seq2SS1-P1-92 : « […] si je rentre un programme, il faut que je ferme impérativement la porte, […] par mesure de sécurité, donc on va venir fermer la porte, voilà. Par contre, sur cette même machine, en plus de fermer la porte […] il faut donner un tour de clé, et appuyer sur l'arrêt d'usinage. Bon, ça c'est spécifique à celle là, chacune a ces spécificités […] »

Cependant, nous avons noté que deux étudiants E2 (deux fois) et E1, ont rencontré cet obstacle durant l'utilisation du simulateur en mode fraiseuse et en mode tour. Pour la fraiseuse :

> Seq2SS1-E2-86 : « (pour passer en mode manuel) »
> Seq2SS1-P1-87 : « Là il faut que tu te mettes ici, mais tu n'a pas fermé la porte, là on passe à mode manuel et il faut fermer la porte, en cliquant là-dessus. Alors maintenant tu peux venir ici, » (aussi en Seq3SS1-P1-180)
>
> Seq3SS1-E1-120 : « Monsieur, comment on fait le tour de clé quand on ferme la porte?
> Seq3SS1-P1-121: « On dirait que tu as oublié de fermer la porte, parce que il suffit pas de fermer la porte il faut en plus lui dire : « j'ai fermé la porte »/ Voilà tu fais un tour de clé, maintenant, alors

[141] Dans le contexte universitaire technologique de cette recherche, P1 parle d'origine mesure et non pas d'origine machine.

> simplement tu l'as fait trop tard parce qu'il fallait le faire avant, alors attends, on va revenir ici, on va passer en manuel, c'est quand tu est en manuel qu'il faut que tu le fasses ça. Tu fermes la porte, tu fais le tour de clé, l'arrêt d'usinage, maintenant si je vais ici, j'ai plus le bouton de fonction allumé.

Lors de l'analyse de l'activité d'E1[142], nous caractérisons aussi cet obstacle apparaissant deux fois. Dans le cas de l'activité d'E3 l'absence de cet obstacle se justifie par la procédure mise en œuvre, comme nous le verrons plus tard dans le paragraphe 10.3.

- **Les situations de dysfonctionnement**

La butée électrique et la casse du palpeur sont les situations de dysfonctionnement identifiées dans cette séance de formation avec simulateur.

La butée électrique est une situation de dysfonctionnement consistant à atteindre le maximum de la course dans un des axes de la machine. La machine s'arrête afin d'éviter que les éléments mobiles sortent de la machine (butée). « La puissance » s'éteint. C'est E3 qui provoque ce type de dysfonctionnement :

> Seq3SS1-E3-94 : « (demande sur l'état de la procédure) »
> Seq3SS1-P1-95 : « C'est la puissance, donc il est possible de taper sur la butée électrique, alors pour faire sortir la butée électrique, sur la machine tu vas appuyer sur un bouton qui est quelque part, sur celui là je crois que c'est ctrl alt shift, et je refais un RAZ et un tour de clé et je fais un zoom et je fais ctrl alt shift majuscule, voilà, il fallait appuyer sur tout ça. Alors là j'ai la puissance, je lâches pas le bouton et la c'est taper en Z apparemment, alors tu doit faire en Z moins pour venir en arrière »
> Seq3SS1-E3-96 : « Oui »
> Seq3SS1-P1-97: « Voilà, là je peux lancer, j'ai toujours ma puissance »
> Seq3SS1-E3-98 : « Ok »

P1 « prend en charge » la réalisation de la sortie de la butée électrique. Après le diagnostic il montre la procédure (souris en main), et explicite la procédure à suivre par la suite.

La casse du palpeur est une situation de dysfonctionnement sur laquelle E2 s'interroge (Seq2SS1-E2-61 : « Et si on rentre dans la pièce »). Elle fait l'objet d'une démonstration (Seq2SS1-P1-64 : « […] On va profiter pour voir qu'est-ce qui se passe en Z si je rentre trop […]. Ah si ! j'ai plus ma puissance, mon palpeur est cassé »). C'est aussi avec E2 que cette situation de dysfonctionnement a lieu :

> Seq3SS1-E2-128 : « Qu'est-ce qu'il y a ? »
> Seq3SS1-P1-129 : « Attends là tu as cassé le palpeur, t'as plus de puissance, attends là c'est un peu pénible parce que là il faut »
> Seq3SS1-E2-130 : « Il faut se dégager quand même »
> Seq3SS1-P1-131 : « Là je pense que tu vas pas réussir à te dégager, est-ce que simplement ça tourne déjà,// Quand tu es beaucoup rentré, tu es trop rentré et là, il a mal vécu, tu es à un sixième de course, quand tu es passé de cinq dixièmes lui il arrête, là, à part d'éteindre et de redémarrer je vois pas ce qu'on peut faire, et si, tu as de puissance !! »
> Seq3SS1-E2-132 : « Si, il faut que je me dégage »
> Seq3SS1-P1-133: « Alors là il faut que tu te dégages, que tu bouges en X moins »
> Seq3SS1-E2-134 : « Là je suis à xxx, il faut xxx puissance ? »

[142] Voir paragraphe 10.4.1.1

Seq3SS1-P1-135 : « (en quel axe il se trouve) »
Seq3SS1-E2-136 : « Là je suis en Z »
Seq3SS1-P1-137 : « Et ça ça revient ? »
Seq3SS1-E2-138 : « Et oui »
Seq3SS1-P1-139 : « Et ça marche ça ! C'est bien. Oui parce que tu étais avec la butée électrique, donc tu avais une procédure pour sortir de butée électrique. Voilà tu y es, à peu près ».

La stratégie mobilisée par P1 avec E2 est différente de celle qu'il a prise avec E1. P1 ne prend pas la souris, ni ne « dicte » la procédure à suivre. Il suggère une procédure (éteindre et redémarrer) que E1 refuse d'effectuer en en proposant une autre. P1 indique alors à E2 comment réaliser la procédure qu'il a proposée (« Alors il faut que tu te dégages en Xmoins »).
P1 gère différemment les deux situations de dysfonctionnement. Dans l'un des cas (butée électrique auprès d'E3), il effectue la procédure et explicite la suite. Dans l'autre cas (casse de palpeur avec E2) l'étudiant prend en charge la réalisation de la tâche et P1 fournit les informations susceptibles de l'aider.

Dans l'analyse des interactions P-E, l'identification des marqueurs linguistiques nous conduit aux réflexions suivantes :

- Dans les interactions verbales avec les étudiants, comme dans le moment d'explication générale, une réponse correcte induit certains marqueurs : « voilà, justement ». Et face à une réponse incorrecte, P1 répète aussi la réponse donnée par l'étudiant pour commencer sa réponse ou faire argumenter puis s'auto-corriger l'étudiant.

Un exemple de réponses correctes :

Seq2SS1-E2-72 : « Justement et là c'est bon, »
Seq2SS1-P1-73 : « Voilà »

Nous avons compté neuf marqueurs « voilà » avec cette fonction de pointage d'une réponse correcte.

Un exemple de réponse incorrecte qui exige une réponse de P1 :

Seq3SS1-E3-202 : « Moins 283 »
Seq3SS1-P1-203 : « Moins 283 ?, mon PREF est de là à là »

Cette ressource est souvent utilisée en cas de question des étudiants, au début de la réplique de P1, ce qui constitue un autre rôle dans l'utilisation de cette stratégie :

Seq2SS1-E2-74 : « Et <u>après</u> il faut faire… »
Seq2SS1-P1-75 : «<u>Après</u> RAZ CN, RAZ automate»
Seq2SS1-E2-76 : «<u>Et là</u> je fais un tour de clé…»
Seq2SS1-P1-77 : «<u>Et là</u> la puissance va arriver, // ça va venir. »

Concernant la densité de marqueurs, nous pouvons compléter le tableau 12 en ajoutant une colonne concernant les marqueurs relatifs à ce moment de la séance, d'une durée d'environ 38 minutes, et d'un temps de parole P-E d'environ 15 minutes :

Tableau 15 : Présence des marqueurs de discours de P1 dans les trois moments			
Marqueur de discours	**Présence dans le premier moment : l'explication générale des notions en jeu 40 min**	**Présence dans le deuxième moment de démonstration 14 min** ***(Valeurs si la durée est prolongée*****)**	**Présence dans le troisième moment de travail des étudiants, 15 min** ***(Valeurs si la durée est prolongée*****)**
Donc	37	21 *(59)*	15 *(40)*
Si	44	7 *(20)*	4 *(10)*
Quand	34	13 *(37)*	10 *(26)*
D'accord	13	4 *(11)*	3 *(8)*
Parce que	9	8 *(22)*	12 *(31)*
Bon	4	4 *(11)*	2 *(6)*
Alors	6	7 *(20)*	10 (26)
Voilà	3	7 *(20)*	10 *(26)*

L'analyse comparative de l'utilisation des marqueurs peut alors être poursuivie. Dans ce troisième moment, les marqueurs discursifs de l'activité de médiation et leurs nombres d'occurrences sont quasiment identiques à ceux du deuxième moment d'activité de démonstration. La diminution du « si », l'augmentation d' « alors » et « voilà » sont les caractéristiques principales des marqueurs dans ce troisième moment.

Le marqueur « voilà » est mobilisé différemment dans ces deux derniers moments : il sert d'appui à la démonstration d'une procédure (moment de démonstration) et à l'affirmation des réponses correctes des étudiants (moment de médiation). Dans les deux cas, il remplit la même fonction de réaffirmer une réussite dans l'action.

Concernant l'utilisation du temps de parole de l'enseignant vers le groupe, nous avons identifié six interventions. Selon l'ordre chronologique elles sont relatives à :

1. l'organisation, en relation au cahier de TD (Seq2SS1-P1-67)
2. une première description de la procédure de mise en tension du simulateur (Seq2SS1-P1-67)
3. une explication sur l'affichage des valeurs par rapport aux différentes origines, Op et Om (Seq3SS1-P1-116)
4. une première consigne en relation au choix du point pour effectuer le PREF (Seq3SS1-P1-126) :

   Seq3SS1-P1-126 : « Et ça m'arrange que vous le fassiez comme ça, quand vous avez, vous avez l'équerre ici, avec comment dire… que le montage est là, et ça m'arrange que vous fassiez le PREF là-dessus »

5. une deuxième consigne par rapport au PREF (Seq3SS1-P1-210)

   Seq3SS1-P1-210 : « Le but est d'arriver à ça comme valeur. Vous vous rappelez comment vous faites pour rentrer le PREF ? »

6. des échanges entre P1 et le groupe en relation à la vérification de la procédure effectuée (Seq5SS1-P1-382) :

   Seq5SS1-P1-382 : « Vous avez tous les mêmes valeurs sur les PREF X,Y,Z? »

Ces interventions correspondent à l'utilisation du simulateur en mode fraisage. Dans ces interactions entre l'enseignant et la classe, P1 utilise souvent le tableau pour représenter les vecteurs et écrire les résultats.

10.2.1.4 La dilatation de la broche

Ce phénomène a été abordé dans la séance de formation avec les étudiants expérimentés. Les extraits suivants concernent l'explication de P1 sur ce phénomène. Pour cela, il effectue une démonstration de l'utilisation et de la prise en charge de ce module intégré dans le simulateur.

A travers les couleurs :

> Seq4SS1-242 : « Alors là j'ai fait mes 25 trous, […] et ici sur ces 25 trous, si je me rapproche un coup, ici j'ai l'échelle de couleurs qui me montre la profondeur de trous, alors maintenant je l'ai ici la valeur minimale […], la valeur maxi c'est 0,27[…] »

Et par comparaison avec la situation dans l'atelier :

> Seq4SS1-253 : « Ce que j'ai mis là, j'y vais, // Vous avez compris l'idée ? Dans la réalité, ça bouge plus que ça, dans la réalité je prends deux cinquièmes, dans le premier tour parce que ça va prendre un peu plus que deux cinquièmes, sur cette machine là, il y en a d'autres, c'est d'autre chose, sur celle là c'est ce que j'ai donné à peu près. »

Enfin, un extrait de l'entretien post séance permet d'illustrer la perception de P1 sur l'intégration de ce module de simulation en formation :

> ETPSS1P1-4 : « […] Par contre j'étais… je m'en doutais un peu, mais je pense que j'ai pas assez réfléchi, c'est pour mieux utiliser les possibilités de simulation en dilatation de broche, parce que je leur ai montré que ça marche, mais je crois que tu es sensible à une solution que quand tu as eu le problème, et eux ils ont jamais eu le problème, donc je leur montre une solution et oui, c'est bien ça fait de couleurs, ils ont pas été sensibles il me semble. »

En conclusion, la stratégie mobilisée par l'enseignant lors de ce troisième moment vise la réussite de l'activité des étudiants. Pour cela, il doit faire face à trois types de difficultés :

- Les obstacles liés aux notions sous-jacentes à la tâche notamment avec la vision dans l'espace.
- Les obstacles didactiques, liés en particulier aux conditions du développement du simulateur.

- Les situations liées aux dysfonctionnements qui peuvent être considérés comme des obstacles didactiques, puisque liées à l'utilisation du simulateur. Ils n'arrivent pas dans les situations avec MOCN que nous avons pu observées. Pourtant, ces situations de dysfonctionnements constituent des opportunités pour la formation à des situations «atypiques », à éviter dans une situation de mise en fonctionnement de MOCN.

L'analyse des marqueurs linguistiques a permis de relever un autre rôle du marqueur « voilà » et d'identifier une même tendance dans l'utilisation des marqueurs dans deux moments : celui de démonstration et celui de médiation, qui concernent la même activité. Il est possible de lier cet aspect avec la manière d'agir de cet enseignant, qui souvent « dicte » les consignes, ou prend la souris pour montrer aux étudiants la procédure à suivre.

Pour terminer sur ce sujet, un extrait de l'entretien post séance avec P1 permet de comprendre comment cet enseignant perçoit la formation avec simulateur :

> ETP1PSS1-4 : « J'ai l'impression que le simulateur pour moi était comme la machine, que je voulais l'utiliser comme la machine. Je me suis rendu compte que je l'utilisais comme tous les logiciels. Tous les logiciels en règle générale. Tu prends les étudiants autour et voilà comment ça marche, voilà une façon de vous en servir, après avec ça vous vous débrouillez. Alors que quand je suis sur la machine c'est beaucoup beaucoup plus directif : « il faut faire ça, ça et ça, est-ce que tu as compris ? Si oui, répète. Tandis que là, je fais comme quand on est en FAO ou en CAO : je leur montre comment ça marche, et après à vous de vous débrouiller. Et c'est ça qu'ils ont fait, après ils ont tapé sur la butée électrique, donc on plantait ici, on plantait là, on a replantait à chaque fois et on est reparti. Donc ça m'a changé parce que c'était pas comme ça que j'imaginais que j'allais m'en servir. Mais c'était très bien aussi parce que finalement ça m'a servi pour montrer des choses que j'avais pas prévues. »

Cet extrait permet d'illustrer le sens de la co-activité entre l'enseignant et les étudiants. Dans la situation de formation avec de nouveaux modes d'utilisation de l'instrument de médiation (le simulateur), émergent des situations qui n'étaient pas prévues au départ[143].

10.2.2 LA DEUXIEME SEANCE : FACE AU GROUPE D'« APPRENTIS »

La deuxième séance s'organise aussi en trois moments. Le premier est consacré à l'explication générale du fonctionnement des machines et se déroule dans le parc des machines. Les deux autres correspondent à ceux repérés dans la séance avec la séance avec le groupe d'expérimentés. Lors du deuxième moment, P1 effectue une démonstration auprès des étudiants. Cette démonstration est répartie sur deux instants de la séance, ayant pour objectif: faire le POM. L'activité des étudiants suit chaque fois la démonstration.

[143] Nous pouvons inscrire cette réflexion dans la théorie de l'action didactique à propos d'une transposition didactique ascendante, dans laquelle les savoirs sont co-construits dans la situation didactique par les étudiants et l'enseignant.

10.2.2.1 Explication générale dans le parc des machines

La stratégie de l'enseignant P1 dans ce moment d'explication générale est de présenter les machines aux apprentis (qui n'ont jamais vu ces machines). Il décide de faire avec eux un passage dans le parc des machines. Les thèmes sont, par ordre chronologique :

- La vision globale de l'atelier : présentation des différentes machines ;
- Les machines outils conventionnelles ;
- Les machines outils à commande numérique.

Lors de la **présentation globale de l'atelier**, les étudiants et l'enseignant montent à un étage de manière à apercevoir le parc des machines[144]. P1 explique l'organisation générale de l'atelier et introduit quelques notions, par exemple la différence entre un tour et une fraiseuse…

> Seq1SS2-P1-2 : « […] le tour c'est la pièce qui est en rotation, donc c'est l'outil qui est fixe et la fraiseuse c'est plutôt l'inverse, c'est la pièce qui est fixe avec l'outil qui tourne. Avec des variantes possibles mais l'idée de base c'est celle là. […] »

…Ou les machines qui feront l'objet de la séance, en relation avec le déplacement des éléments mobiles des machines :

> Seq1SS2-P1-2 : « […] On ira voir aussi les fraiseuses conventionnelles, comme ça quand vous aurez fait les différents déplacements vous pourrez faire je pense plus rapidement le lien avec les machines outils à commande numérique. »

Ensuite le groupe enseignant-étudiants descend dans l'atelier pour la présentation des différentes machines. Les **machines outils conventionnelles** sont abordées selon un ordre précis : leur fonction, leur principe de fonctionnement et parfois un exemple d'application, comme il est résumé dans le tableau 16 :

Tableau 16: Présentation des machines conventionnelles

Type de machine	Fonction	Principe de fonctionnement	Exemple d'application
Machines à tailler des engrenages	Seq1SS2-P1-3 : « […] *c'est pour* fabriquer les engrenages »		
Machines à électroérosion	Seq1SS2-P1-3 : « […] *c'est pour* faire des usinages par tensionage »	Seq1SS2-P1-3 : « […] c'est un petit arc électrique à chaque fois qu'il y a d'enlèvement de matière, il y a une électrode et il y a un arc électrique entre la pièce et l'électrode. […] »	Seq1SS2-P1-4 : « […] voilà par exemple un électrode. Je mets cet électrode au dessus de la matière, ça fait des arcs électriques, la matière descend petit à petit »
Machines à couper les tôles	Seq1SS2-P1-3 : « […] *pour couper* les tôles parce qu'il va bien falloir couper les tôles […] »	Seq1SS2-P1-7 : « […] je rentre une tôle ici, vous voyez le couteau qui est là, il y a un mouvement de… quand on enclenche, le tout descend, et on a coupé […]	

[144] Des photographies son disponibles dans l'annexe 2, synopsis 16, Figure synopsis : « organisation de la classe dans le moment d'explication dans le parc de machines ».

Grignoteuse	Seq1SS2-P1-3 : « […] *pour grignoter* les tôles […] »	Seq1SS2-P1-7 : « […] machine à découper, avec un gros ciseau et je me débrouille je passe autour […] »	
Rectifieuse		Seq1SS2-P1-3 : « […] c'est les machines par abrasion, c'est une meule qui tourne et c'est chaque petit grain de matière qui enlève, qui fait l'usinage […]	Seq1SS2-P1-7 : « […] quand je vous parlais tout à l'heure de rectifieuse, […] Seq1SS2-P1-8 : « […] Tout à l'heure c'était une recti plat, là c'est une recti cylindre, j'ai la meule qui tourne ici […] »
Perceuse	Seq1SS2-P1-7 : « […] Celle-ci est *pour faire* des trous […] »	Seq1SS2-P1-7 : « […] Simplement on pose la pièce là dessus, on met l'outil, et après si on veut faire un trou plus gros, quand l'outil tourne, le plateau avance, et ça va faire […] »	
Tour		Seq1SS2-P1-4 : « […] la pièce, ça c'est un mandrin, la pièce est dans le mandrin. Quand le mandrin tourne, quand l'outil passe, ça enlève le copeau, […] »	
Fraiseuse		Seq1SS2-P1-8 : « […] ici tu montes l'outil, dans l'étau je monte la pièce, là déplacement longitudinal, et là j'ai le mouvement de xxx, d'accord ? Ce dont on parlait l'autre jour, là je dis que c'est une trois axes parce que j'ai trois directions de déplacement. Là bas j'ai en tour c'est deux axes j'en ai que deux […] »	

L'enseignant priorise dans tous les cas le principe de fonctionnement de chacune des machines, et parfois (cas de la machine à électroérosion et la rectifieuse) donne des exemples d'application. Il finit la présentation des machines conventionnelles par le principe de déplacement des axes.

L'explication sur **les machines outils à commande numérique** (MOCN) commence avec les différences entre les machines conventionnelles et les MOCN et continue avec la présentation des différentes machines en fonction des déplacements dans les différents axes. Les machines sont ainsi présentées par ordre croissant de complexité des mouvements. La dernière MOCN montrée aux étudiants est aussi une machine à cinq axes.

10.2.2.2 La démonstration de l'activité

La démonstration se déroule en trois moments durant la séance, que nous avons regroupés afin les analyser. D'abord, P1 montre aux étudiants la procédure de mise en fonctionnement concernant la prise d'origine mesure (POM) avant que les étudiants effectuent cette procédure. Ensuite l'enseignant P1 leur montre la prise de référence (PREF) et les étudiants poursuivent la procédure. Enfin, pour clôturer la séance, l'enseignant montre aux étudiants l'introduction des longueurs d'outil dans le calculateur de la machine ; les étudiants cette fois-ci n'effectuent pas la tâche. Dans ce contexte, on pourrait penser que la stratégie mobilisée par l'enseignant P1 correspond à celle mise en œuvre dans la séance avec les étudiants

expérimentés. L'analyse des savoirs en jeu montre cependant certaines différences. En effet, lors de l'explication générale dans le parc des machines nous notons l'absence de notions sous-jacentes à la tâche (comme c'était le cas lors de l'explication avec le groupe d'expérimentés[145]). Ces notions sont introduites par P1 au moment de la démonstration en utilisant :

- la description de la procédure
- l'appui sur le simulateur
- l'introduction des notions sous-jacentes à la tâche

L'introduction des notions sous-jacentes à la tâche semble englober les stratégies de mise en œuvre des concepts mécaniques et l'exemple.
La figure suivante permet de comparer les stratégies de l'enseignant avec les eux groupes d'étudiants :

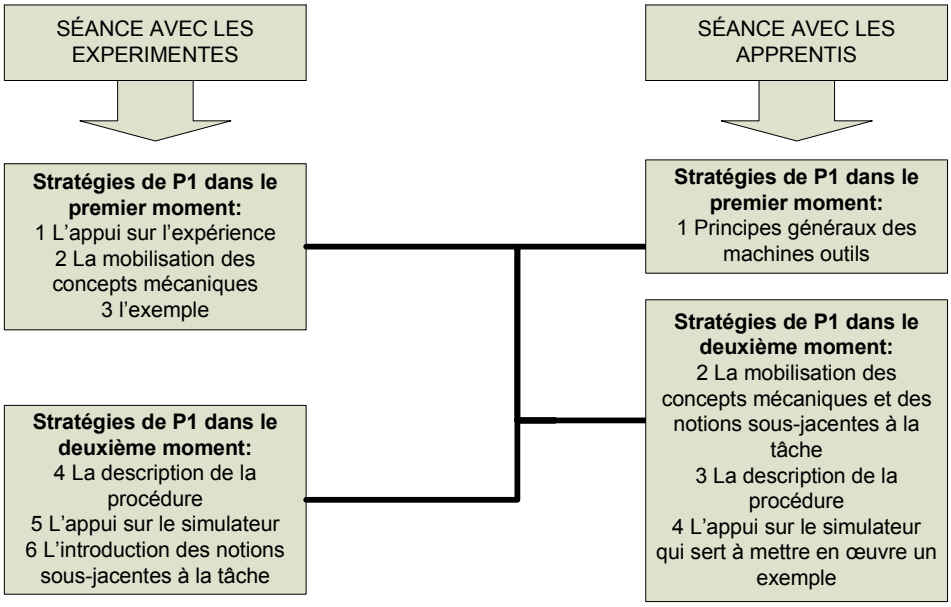

SÉANCE AVEC LES EXPERIMENTES
SÉANCE AVEC LES APPRENTIS
Stratégies de P1 dans le premier moment:
1 L'appui sur l'expérience
2 La mobilisation des concepts mécaniques
3 l'exemple
Stratégies de P1 dans le deuxième moment:
4 La description de la procédure
5 L'appui sur le simulateur
6 L'introduction des notions sous-jacentes à la tâche
Stratégies de P1 dans le premier moment:
1 Principes généraux des machines outils
Stratégies de P1 dans le deuxième moment:
2 La mobilisation des concepts mécaniques et des notions sous-jacentes à la tâche
3 La description de la procédure
4 L'appui sur le simulateur qui sert à mettre en œuvre un exemple

Figure 23 : Les différentes stratégies identifiées chez l'enseignant P1 dans deux moments et lors de deux séances de formation

Dans les exemples qui suivent, P1 **introduit des notions** par la combinaison des concepts mécaniques et des notions sous-jacentes à la tâche, par une description de la procédure qui comme dans la séance antérieure s'appuie sur le simulateur et dans laquelle la démonstration

[145] Nous rappelons que les stratégies identifiées dans le premier moment d'explication générale avec le groupe d'expérimentés étaient : l'appui sur l'expérience, la mobilisation des concepts mécaniques et l'exemple. Ces stratégies sont absentes dans l'explication générale avec le groupe d'apprentis.

semble servir d'exemple d'application. Les étudiants ont à répéter l'exemple fourni par l'enseignant, et ceci juste après la démonstration.

- **La procédure du POM :**

Concernant la mobilisation des concepts mécaniques et les notions sous-jacentes à la tâche :

- Le changement de repères permet à P1 d'introduire la problématique de réglage de la machine, c'est à dire l'existence de « plusieurs systèmes de référence qui doivent être coordonnés entre eux » (Rabardel & al., 1988, p 108).

> Seq1SS2-P1-15 : « C'est que je vais devoir faire pour mettre la machine en œuvre c'est d'expliquer d'abord où ils sont ces repères et après où sont les miens. […] Donc la première chose, comme si on se déplaçait sur une règle on cherche une encoche et dans la mémoire de la machine je lui dis entre cette encoche et c'est zéro il y a tant, entre cette encoche et le déplacement maxi il y a tant. Donc à partir du moment où il sait où il est sur l'encoche : il sait où il est le zéro et où il est le déplacement maxi. »

- Pour définir le POM, P1 mobilise trois des stratégies énoncées : l'appui sur le simulateur (« quand ça clignote »), la définition des notions (« POM est prise d'origine machine ») et l'explication de la procédure (« alors la procédure »).

> Seq1SS2-P1-16 : « Quand ici ça clignote, c'est que ces origines là ne sont pas faites, ces origines s'appellent le POM : les prises d'origine machine. Donc la première chose à faire c'est de me déplacer pour faire ces origines. […]. »

On note l'utilisation de l'appellation « prise d'origine machine » plutôt que « prise d'origine mesure ». Nous avons interrogé P1 sur les différentes utilisations de terminologies relatives à cette notion. Il explique que face aux étudiants apprentis, et dans le module d'ouverture de la séance ciblée, il est plus intéressant d'utiliser la dénomination que les étudiants ont plus de chance d'utiliser, donc celle utilisée dans le contexte professionnel.

Enfin, la stratégie déployée consistant à décrire la procédure est mise en œuvre par P1 sans autre justification :

> Seq1SS2-P1-17 : « Pour faire les prises d'origine machine, mes POM, il faut que je fasse déplacer tous les axes, alors la procédure est : d'abord je les déplace en moins, et après repartir en plus, je vous expliquerais un jour pour quoi si vous êtes intéressés. Donc ici on va faire un peu d'X moins, un peu d'Y moins, un peu d'Z moins et un coup de 4 moins, voilà. Donc maintenant je passe ici en mode POM […]»

- La définition de la norme dans le mouvement des axes est introduite par une explicitation de la norme, et par une démonstration portant sur les sens des mouvements.

> Seq1SS2-P1-16 : « […] Z vous vous rappelez c'est l'axe de broche, ce qu'on avait dit en cours, en Z+ il y a l'outil qui s'éloigne de la pièce, toujours avec le + qui s'éloigne de la pièce. Alors en théorie dans la norme la pièce est fixe, et c'est la broche qui se déplace, dans la pratique ce n'est pas toujours le cas :

> […] Donc ici quand je fais Z+, elle part vers là bas, et en Z-, et les avancements rapides c'est ici, là ça va plus vite. »

- **La vérification de la procédure du POM**

Quand les étudiants ont effectué le POM, P1 effectue une autre démonstration dans la séance. D'abord, il explique la procédure pour vérifier si les POM sont réalisées à partir des notions d'introduction manuelle de données, de fermeture de la porte et des fonctions CN relatives à l'origine mesure (avant effectuer les PREF). Les extraits Seq2SS2-P1-22 jusqu'au Seq2SS2-P1-27 font référence à ces notions nécessaires pour la vérification de la procédure. On identifie aussi une différence par rapport à la séance des étudiants expérimentés, concernant la mise en œuvre de contenus :

> Seq2SS2-P1-27 : « […] Mais par contre il faut que je lui dise par rapport à quel repère, le zéro de quel repère, d'accord ? […] Donc la fonction que je vais utiliser pour travailler avec les repères de la machine, les repères qu'on a défini tout à l'heure avec le POM, il y a une fonction ici. La fonction pour lui dire que je travaille par rapport aux origines de repère machine c'est G52 ».

Si l'on compare avec l'introduction de la fonction G52 dans la séance des expérimentés :

> Seq2SS1-P1-56 : « Je vais pas travailler moi par rapport aux origines programme, parce qu'il y a pas de PREF dans la machine, donc je vais travailler par rapport aux origines mesure, travailler par rapport aux origines mesure c'est G52. […] »

En effet, P1 ne peut pas s'appuyer sur la notion de PREF parce qu'elle n'a pas été encore introduite avec les étudiants apprentis qui n'ont donc pas ce répertoire de procédures. On pointe encore la différente terminologie dans le cas d' « origine machine »/ « origine mesure ».

- **La procédure de PREF** est ensuite introduite, à partir de la différenciation entre l'affichage des distances par rapport aux différentes origines : pièce et mesure Op/Om.

> Seq2SS2-P1-27 : « […] Et donc quelque part dans la machine, en l'occurrence ici, j'ai ce qu'on appel les PREF, les points de référence. C'est-à-dire, le décalage qu'il y a entre mon point de référence à moi et son origine à lui, d'accord ? et après j'aurai un changement de repères avec les coordonnées. »

La notion de **PREF** est également introduite par d'autres explications. Ainsi, après une première approximation de la notion, P1 positionne « ma pièce pour la mettre face à la broche » (Seq2SS2-P1-28), introduit le palpeur et donne le point à atteindre en expliquant le déplacement en mode incrémental (Seq2SS2-P1-28 :31). Toutes ces notions sont introduites par le biais du simulateur. A la fin de l'utilisation, P1 explique comment on calcule le vecteur **PREF** :

* En choisissant le bout de palpeur pour palper dans le point choisi comme origine programme :

> Seq2SS2-P1-31: « […] Donc si moi je veux savoir où est mon origine programme par rapport à ces origines à lui, plus simple, ça serait de prendre ce point de référence et de le poser […].Je n'ai pas pu prendre ce point parce qu'il est à l'intérieur, donc je viens toucher avec le palpeur, je regarde de combien je me suis déplacé avec le palpeur, je rajoute ce que mesure le palpeur […].

* Et en calculant la valeur du PREF en fonction de la distance et de la longueur du palpeur

> Alors mon palpeur il fait 110, là j'ai 334, donc -334-110 ça me fait -444. Donc ici j'ai plus qu'à rentrer PREF ici et je vais lui dire, Z-444, LF ce qui fait que maintenant quand je repasse ici, il me dit que sur Z je suis en 109,9 parce qu'il y a une différence. Donc après quand je vais introduire le programme, il suffit de lui dire la longueur de l'outil, qu'il puisse ajouter la longueur de l'outil et après… ça va ça pour tous ? […] »

Dans ce cas, P1 n'aborde pas « l'erreur classique », c'est-à-dire, l'obstacle épistémologique sur les sens des axes et les signes dans le vecteur **PREF**.

En relation à l'utilisation des **marqueurs linguistiques**, le tableau qui suit permet d'identifier les différences entre les stratégies déployées avec le groupe d'expérimentés et d'apprentis.

Tableau 17 : Présence des marqueurs de discours de P1 dans le même moment des deux séances

Marqueur de discours	**Présence dans le premier moment et *deuxième moment* de la séance avec les étudiants expérimentés l'explication générale des notions en jeu (40 min et *14 min*)**	**Présence dans le premier moment de la séance avec les étudiants apprentis ; l'explication générale dans le parc des machines (20 min)**	**Présence dans le deuxième moment de la séance avec les étudiants apprentis (26 min)**
Donc	37- *21*	14	39
Si	44- *7*	2	3
Quand	34- *13*	14	12
D'accord	13- *4*	8	8
Parce que	9- *8*	2	**9**
Bon	4- *4*	1	0
Alors	6- *7*	1	**17**
Là, ici	10- X	18	23
Voilà	3- *7*	1	**1**

Dans l'utilisation du marqueur « donc », un pattern est identifié, il correspond à une structure « donc + adverbe de temps ou de situation ».

- Relatif au pattern « donc + adverbe de temps », nous identifions : donc maintenant, donc la première chose, etc. Ces deux patterns permettent de signaler le déroulement chronologique dans une séquence de procédures :

A travers une consigne :

> Seq1SS2-P1-13: « *Donc maintenant* je vous montre un petit peu comment ça marche sur le simulateur, d'accord ? […]»

Par l'explicitation de la procédure dans l'instant précis

> Seq1SS2-P1-17: « […] *Donc maintenant* je passe ici en mode POM »

Seq1SS2-P1-18: « […] *donc maintenant* quand je me déplace, on cherche l'équivalent d'un encoche […] »

Seq1SS2-P1-15: « […] *Donc la première chose*, comme si on se déplaçait sur une règle on cherche une encloche et dans la mémoire de la machine je lui dit entre cette encoche et c'est zéro il y a tant […] »
Seq1SS2-P1-16: « *Donc la première chose* à faire c'est de me déplacer pour faire ces origines. […] »

Par la clôture d'une procédure, comme élément de transition

Seq2SS2-P1-24: « […] *donc maintenant*, j'ai fermé la porte et j'ai dit que la porte est fermée […] »
Seq2SS2-P1-28: « […] *Donc maintenant*, puisque je suis allée à 0,0,0 ; je vais tourner ma pièce […] »

- Relatif aussi au pattern « donc + adverbe de temps » : donc après, donc à partir du moment. Ils servent à clôturer une procédure et comme élément de transition :

Seq2SS2-P1-27: « […] *Donc après* avoir tapé ça, je valide, […] »
Seq2SS2-P1-32: « […] *Donc après* quand je vais introduire le programme, il suffit de lui dire la longueur de l'outil […] »

Seq1SS2-P1-15: « […] *Donc à partir du moment* où il sait où il est sur l'encloche : il sait où il est le zéro et où il est le déplacement maxi. »

- « Donc ici » se réfère toujours au simulateur, et permettent à P1 de pointer l'endroit où se déroule la procédure :

Seq1SS2-P1-14: « […] *Donc ici* j'ai le contact […] »
Seq1SS2-P1-16: « […] *Donc ici* quand je fais Z+, elle part vers là bas […] »
Seq1SS2-P1-17: « […] *Donc ici* on va faire un peu d'X moins […] »
Seq1SS2-P1-18: « *Donc ici*, ça c'est le bouton de POM […] »
Seq2SS2-P1-24: « […] *Donc ici* je vais le dire G0, je vais aller en X0, à Y0 à Z0 et en B […] »
Seq2SS2-P1-32: « […] *Donc ici* j'ai plus qu'à rentrer le **PREF** ici et je vais lui dire, Z-444 […] »

D'autres marqueurs linguistiques sont repérés. Comme dans le cas de la première séance, une grande concentration de marqueurs *« alors »* revient en début, lors de la mise en œuvre du simulateur (voir Seq1SS2-P1-13 et 14, il apparaît 8 fois) : fichier « .did », position des étudiants, présentation du simulateur etc.

La faible présence du marqueur « voilà » interroge, en relation aux rôles identifiés précédemment : renforcer les réponses positives des étudiants et renforcer l'action réussite lors de la démonstration de l'enseignant (séance avec les étudiants expérimentés). Il semble que P1 soit moins dans la démonstration de l'activité, et davantage dans l'explication à partir d'un exemple basé sur l'activité dans le simulateur. **Le simulateur n'est plus considéré comme un instrument de médiation (cas de la démonstration) mais comme l'objet de savoir (cas d'explication).** Cet aspect a des conséquences par rapport au rôle de ce moment de démonstration et cela sera abordé par la suite.

10.2.2.3 La médiation dans l'activité des étudiants

L'activité des étudiants apprentis est organisée en groupe. Le premier est formé par deux étudiants ; A1 et A2 - binôme (B) -. Le deuxième est formé par trois étudiants : A3, A4 et A5,

- trinôme (T) -. L'analyse des interactions entre les étudiants et l'enseignant montre une diminution des échanges P-E (onze) par rapport à la séance avec les expérimentés. Les étudiants interagissent davantage entre eux (échanges E-E). L'analyse de l'enregistrement vidéo montre que les étudiants utilisent de manière importante le document « cahier de TD ». L'analyse des situations de médiation permet de relever certains aspects :

- **Les notions enjeu**

L'utilisation de la fonction **la fonction G52** est associée à la vérification de la procédure de POM : (Seq2SS2-P1-27 : « […] La fonction pour lui dire que je travaille par rapport aux origines de repère machine c'est G52. Voilà, G0G52 X0Y0Z0B0 […] »). Cependant, la vérification des PREF n'est pas explicitée lors de la démonstration.

> Seq3-SS2-P1-95 : « A priori vous avez réglé votre zéro, maintenant si vous le dites à la machine de partir, d'aller à 0,0 en X et Y il faut que vous vous trouviez face à l'angle, donc dites lui de partir à 00 et »
> Seq3-SS2-A1-96 : « GOG52 ? »
> Seq3-SS2-P1-97 : « Non, plus G52 parce que vous travaillez par rapport à mon repère à moi »

Le vecteur **PREF** est, dans cette séance, calculé in situ, dans l'activité, de manière conjointe entre l'enseignant et les étudiants. Son calcul constitue un obstacle.

Avec le trinôme, la vérification du calcul de PREF met en évidence les difficultés des étudiants :

> Seq4SS2-P1-85 : « Vous l'avez envoyé en 0,0 ? Regardez si vous êtes… tu y es pas, en X j'y suis, en Y non, donc vous vous êtes trompés quand vous avez calculé votre somme »
> Seq4SS2-A3-86 : « 274 +10 »
> Seq4SS2-P1-87 : « Voilà parce que B ont fait la même chose, *ils n'ont pas réfléchi dans quel sens est l'axe*, Y+ il est vers là bas (geste), si ici j'ai moins 284 avec un palpeur, et je veux mettre l'axe je suis bien dans ce sens (décrit avec les mains), donc c'est 274 pas 264 »

Comme lors de la séance avec les expérimentés, c'est le signe du vecteur qui pose problème aux étudiants ; ce signe dépend du sens du mouvement des axes mobiles de la machine. Dans le cas du trinôme, le calcul de toutes les distances est effectué par l'enseignant :

> (Extrait hors annexes) : « Tu es en train d'afficher tes PREF, tu es pas en train d'afficher tes cotes, clique, reclique encore là tu es par rapport à Op, et là tu es par rapport à Om, donc c'est Y-264, donc tu auras Y-274, parce qu'en Y tu es en train de descendre de 10 mm sur plus, ça marche ? Donc si tu repasses sur ta page de coordonnées, par rapport à Op tu est à Y -…, d'accord ?

Affichage de distances en fonction des différentes origines, mesure ou pièce Om/Op

L'affichage de coordonnées, en fonction de Op et de Om (origine machine dans cette séance) est expliqué une fois auprès du trinôme :

> Seq3SS2-P1-65 : « [...] il faut que tu changes l'affichage par rapport à l'origine programme, il faut que tu te changes par rapport à l'origine mesure, (il se lève et prend la souris, indique la touche de changements d'origines) : là, c'est ici par rapport à (P1 part) »

et trois fois auprès du binôme.

- **Les obstacles didactiques :**

Le premier obstacle identifié, **la fermeture de la porte**, n'apparaît pas dans l'activité des étudiants dans cette séance. Les observations montrent que les apprentis suivent les étapes énoncées par le cahier de TD, qui prévoit la fermeture de la porte. Dans ce sens, le fait qu'ils soient impliqués fortement dans la pratique, et surtout guidés par le document, semble éviter cet obstacle didactique :

> Seq3SS1-A5-33 : « (A5 lit le cahier de TP) Attention, la porte doit être fermée, oui c'est bon. Sélectionner le mode IMD, mais si, ce côté et ce côté sont pareils (en signalant les deux procédures, fermeture de la porte et mode IMD du cahier de TD) »

L'obstacle relatif au **potentiomètre des avances**, se présente différemment pour les apprentis. Les expérimentés oublient d'activer le potentiomètre pour permettre les avances. Les étudiants apprentis omettent de mettre le potentiomètre à zéro pour dégager le palpeur du plan qui contient le point choisi pour le PREF, ce qui provoque un arrêt de puissance (situation de dysfonctionnement de casse du palpeur). Cet événement conduit P1 à avancer une consigne :

> « Sur la vraie machine, mettez le potentiomètre à zéro, au cas où on se trompe de sens, pour ne pas aller trop vite ».

- **Les situations de dysfonctionnement**

La « **butée électrique** » est provoquée trois fois par le binôme et une fois par le trinôme. Dans tous les cas, P1 explique les causes de ce dysfonctionnement et prend en charge la sortie de cette situation:

> Seq2SS1-P1-19 : «Voyez, ici tu as plus de puissance, et tu as plus de puissance parce que ce qui s'était passé c'est que tu as tapé dans la butée électrique. Pour te dire que sur tes axes de déplacement, comme on sait pas où on va, comme ça dépend de xx, il sait pas où c'est le maxi, pour éviter que le chariot sorte carrément de la machine, la butée électrique coupe le courant. Pour revenir, sur cela c'est control, shift alt, je crois, raz, raz automate, tour de clé, et je retrouve la puissance, donc je reviens à Z-, voilà.
> Donc on est ressorti de la butée électrique, tu refais POM et tu refais Z+. Voilà, simplement là tu t'es déplacé en dehors des limites, et il est parti »

La **casse du palpeur** arrive une seule fois avec le binôme, et P1 prend en charge la sortie de la situation de dysfonctionnement.

Lors de cette séance, on pointe des différences dans le comportement des étudiants selon les groupes. Une caractéristique commune est le suivi pas à pas de la procédure « dictée » par le cahier de TD. Mais, les étudiants du trinôme agissent face au simulateur en prenant toutes les précautions possibles, ce qui explique leur faible nombre de situations de dysfonctionnement et d'obstacles didactiques, alors que pour les étudiants du binôme, l'activité ressemble à celle

déployée par les étudiants expérimentés (alors qu'ils ne le sont pas), ce qui explique que le nombre des situations de dysfonctionnement dues à l'utilisation « hors norme » du simulateur soit comparativement plus élevée.

- **Les marqueurs linguistiques :**

Dans cette séance les interactions P-E sont moins nombreuses, et les interactions E-E sont en revanche fréquentes parce que les étudiants travaillent en groupe. L'utilisation des marqueurs semble donner une place à « voilà », « alors », « parce que », ce qui permettrait d'avancer que les modalités d'intervention se rapprochent de celles de la séance avec les étudiants expérimentés.

10.2.3 COMPARAISON DE LA CO-ACTIVITE DANS LES DEUX SEANCES DE FORMATION : DU COTE DE L'ENSEIGNANT P1

10.2.3.1 Le moment d'explication

Les deux moments des séances peuvent être comparés à propos des notions introduites et des stratégies mobilisées par l'enseignant.

Lors de la séance avec les étudiants expérimentés (Se), nous avons identifié une stratégie priorisée prioritairement utilisée par l'enseignant P1. Elle consiste à s'appuyer sur l'expérience des étudiants afin d'élargir le champ conceptuel de la situation. Pour cela, une stratégie langagière a été mobilisée, permettant aux étudiants de se représenter une situation qu'ils connaissaient déjà, à partir des conditions préalables (marqueur « si »).

La deuxième séance est constituée par des étudiants apprentis (A), néophytes envers le pilotage des machines outils. La stratégie de P1 consiste à effectuer une introduction aux machines. Pour cela, il montre les différentes machines outils en insistant sur la fonction (à quoi ça sert) et sur le principe de fonctionnement (comment ça marche). Il n'est pas dans le registre pragmatique de réussite dans l'action (comment ça se conduit).

P1 n'est pas dans le registre pragmatique de la connaissance dans le premier moment de la séance ni avec les expérimentés, ni dans le premier moment de la séance avec les apprentis. C'est dans cet aspect que se situe la ressemblance entre les deux séances en principe différentes :

- par les acteurs : étudiants expérimentés et étudiants apprentis
- par la constitution du milieu : salle d'informatique et atelier

- par les objectifs de la séance : élargissement du champ conceptuel et première expérience

Dans les deux cas, l'enseignant déploie une modalité d'enseignement que nous situons dans le registre épistémique (Pastré et al., 2006) :

> « Le registre épistémique a pour but de comprendre, en identifiant dans une situation donnée ses objets, leurs propriétés et leurs relations. Par exemple, face à un système technique, le registre épistémique permet de répondre à la question : «comment ça fonctionne ? » (Ibid., p 159) »

Certes, les objets de savoir mis en jeu dans les deux cas sont différents : dans la première séance des notions sous-jacentes à la tâche ont pour but l'élargissement du champ conceptuel. Dans la deuxième séance des principes généraux de fonctionnement des machines, à partir des plusieurs exemples sont présentés. Mais dans les deux cas, l'objectif général reste la compréhension du principe de fonctionnement.

Pour appuyer cette réflexion, l'analyse de marqueurs linguistiques dans ces deux séances met en lumière quelques aspects.

Tableau 18 : Présence des marqueurs de discours de P1 dans le même moment des deux séances

Marqueur de discours	**Présence dans le premier moment de la séance avec les étudiants expérimentés l'explication générale des notions en jeu (40 min)**	**Présence dans le premier moment de la deuxième séance avec les étudiants apprentis ; l'explication générale dans le parc des machines (20 min)**
Donc	37	14 *(28)*
Si	**44**	**2** ***(4)***
Quand	34	14 *(28)*
D'accord	**13**	**8** ***(16)***
Parce que	9	2 *(4)*
Bon	4	1 *(2)*
Alors	6	1 *(2)*
Là, ici	**10**	**18** ***(36)***
Voilà	3	1 *(2)*

L'analyse de marqueurs met en lumière des différences en relation avec le profil des étudiants et les caractéristiques du milieu. On pointe la diminution du marqueur « si » que l'on peut relier à l'augmentation du marqueur « là, ici ». Entre la première et la deuxième séance, il existe une différence dans les objectifs et donc dans l'organisation physique du milieu. Dans la première, l'explication s'appuie sur l'expérience des étudiants afin de « représenter » une classe de situations à l'aide de « si ». Dans la deuxième, cette représentation n'est pas possible (pas d'expérience chez les étudiants). Les machines étant présentes dans le milieu, sont « signalée » : là, ici.

L'analyse de la présence de marqueurs indique une certaine vraisemblance dans l'utilisation des marqueurs : voilà, alors, bon, parce que, donc, d'accord. « D'accord » apparaît avec la même fonction que dans la première séance, puisque avec une occupation très important du temps de parole, P1 utilise ce marqueur afin d'interpeller les étudiants.

10.2.3.2 La démonstration de l'activité

Lors de la séance avec les expérimentés (Se), le simulateur était un instrument de médiation entre l'enseignant et l'objet de savoir, autant que l'exemple du tableau. Ainsi, P1 introduit des notions dans un registre plutôt épistémique et ensuite envisage à travers la démonstration partielle de l'activité un registre pragmatique. La différence des marqueurs identifiée lors de la première séance avec les étudiants expérimentés conforte cette hypothèse. Le pattern « donc […] d'accord ? » est utilisé avec une fonction explicative et le marqueur « voilà » dans sa fonction conclusive (et démonstrative) forte.

Dans la séance avec les apprentis (Sa) le rôle du simulateur est différent : il devient l'objet de savoir. Il délimite la chronologie d'introduction des notions. Par exemple, la notion du PREF est introduite parce que le simulateur « le permet », alors que dans la Se, P1 pouvait avancer dans l'introduction des notions, en s'appuyant sur l'expériences des étudiants. P1 effectue la procédure complète dans la démonstration avec les apprentis. Cela interroge sur la prise en charge de l'activité par les étudiants, dans une tâche qui consisterait à répéter une activité déjà démontrée.

10.2.3.3 La Médiation de l'enseignant P1

Durant la séance avec les apprentis, les interventions de P1 auprès des étudiants se caractérisent par une durée moyenne, dans lesquelles, l'objet des échanges et de savoir est le simulateur. Ainsi, nous avons identifié les situations d'obstacle qui constituent pour P1 une opportunité pour revenir aux notions, qui sont expliquées « sur place ».

Les modalités d'intervention de P1 sont différentes dans les deux séances ; lors de la Se, une seule démonstration – partielle - permet d'introduire le simulateur comme instrument de médiation entre l'étudiant et l'objet de savoir. Durant Sa, P1 effectue des démonstrations de la procédure entière. Cette séance Sa sert d'introduction aux notions liées à la mise en fonctionnement et réglage d'un simulateur, puisque cet instrument devient instrument-savoir.

Le registre de conceptualisation visée par l'enseignant P1

Concernant le registre de conceptualisation (Pastré & al., 2006, p 159) visé par l'enseignant, il semblerait que le passage d'un registre épistémique à un registre pragmatique ne se produise

pas dans la situation avec les apprentis aussi clairement que dans la situation avec les étudiants expérimentés.

Nous pouvons donner des explications. Les notions introduites dans la séance avec les apprentis répondent tantôt à la question « comment le système technique fonctionne ? » (registre épistémique), tantôt à la question « comment ça se conduit ? » (registre pragmatique). La comparaison des marqueurs entre les deux moments d'explication et de démonstration semble appuyer cette perspective. L'augmentation du marqueur « donc », notamment dans sa forme « donc ici » permet de confirmer le registre pragmatique.

Le registre de technicité mis en œuvre par l'enseignant P1

Les réflexions précédentes permettent de répondre à une des questions d'orientation de la présente recherche, celle relative à la mise en œuvre d'un registre de technicité en fonction des objectifs et des conditions de la formation, et en fonction du profil des étudiants.

1. En relation avec le *rôle du simulateur* dans chacune des séances (Se et Sa) et au passage d'un *registre de connaissance* épistémique au registre de la connaissance pragmatique, il est possible de construire une première réponse concernant les différents registres de technicité mobilisés par l'enseignant. Les différentes stratégies mobilisées par l'enseignant P1 lors du premier moment des séances sont l'élargissement du champ conceptuel (Se) et l'explicitation du principe de fonctionnement de machines (Sa). Nous avons énoncé les objectifs de la formation : dans le premier cas le module de formation est obligatoire, alors que dans le cas des étudiants apprentis, il constitue un module de découverte en génie mécanique.

2. En relation *aux notions mises en jeu*, nous avons perçu un changement dans la nomenclature qui est déclinée derrière des objectifs de formation bien précis.

Dans la Se, l'enseignant P1 semble rigoureux et utilise les notions précises (origine mesure, PREF choisi par le concepteur). L'objectif est d'élargir le champ conceptuel, dans un mouvement que l'on peut identifier comme un passage de la composante sociologique de la technique à une composante philosophique (Combarnous, 1984). La composante sociologique correspond ici à l'expérience préalable des étudiants, sur laquelle l'enseignant s'appuie pour élargir le champ conceptuel (composante philosophique). A ce premier moment, en formation initiale, l'enseignant P1 envisage un registre de technicité de la participation qui pouvait permettra aux étudiants d'atteindre un registre de maîtrise.

Dans la Sa, l'enseignant P1 introduit les mêmes notions, mais leur introduction dans la chronogènese semble être déterminée par le simulateur qui devient l'objet de savoir. Le passage entre le registre épistémique et le registre pragmatique est moins évident, et les stratégies différenciées pendant la « Se », se mêlent ici dans le discours de P1 durant la phase de démonstration/explication, et les marqueurs de discours permettent de valider cette hypothèse. Le registre de technicité envisagé par l'enseignant est celui d'une participation, mais ne permettant pas en principe d'atteindre ici un registre de maîtrise.

10.3 ETUDE DE LA CO-ACTIVITE ETUDIANT-ENSEIGNANT À PARTIR DE L'ANALYSE DE L'ACTIVITE DES ETUDIANTS

Nous abordons ici la co-activité du côté de l'étudiant, par l'analyse de son activité en situation de formation avec simulateur. La présentation des résultats suit la même logique que celle de la partie concernant l'activité de l'enseignant : d'abord la séance avec les groupe d'étudiants expérimentés (Se), puis la séance avec les apprentis (Sa). Enfin, nous effectuerons une analyse comparative des résultats de deux séances.

10.3.1 La séance de formation avec les étudiants expérimentés

L'analyse de l'activité des étudiants expérimentés met en évidence des manières différentes d'agir face à la même situation, de « jouer le jeu didactique » de mise en fonctionnement et de réglage d'une machine outil à commande numérique. E1 s'appuie sur le cahier de TD afin d'effectuer la procédure. E2, qui possède une expérience professionnelle avec les MOCN, ne s'appuie pas sur le cahier de TD. E3 n'accède pas au cahier de TD et présente des difficultés dans la situation visée par la formation[146].

10.3.1.1 Caractérisation de l'activité d'E1

E1 est un étudiant rigoureux dans sa procédure. Il s'appuie beaucoup sur le cahier de TD pour déployer son activité. Les interactions entre E1 et P1 sont souvent relatives aux notions en jeu :

- L'utilisation des fonctions CN G0/G52 (Seq3SS1-E1-142). Cette interaction verbale a été abordée dans la médiation de l'enseignant comme un obstacle lié aux notions enjeu.

- Le sens de rotation de l'axe B (ou 4). C'est *le seul exemple d'une notion introduite par*

[146] Les interactions verbales entre les étudiants (Se) et l'enseignant P1 sont disponibles dans l'annexe 2, synopsis 11-15. Les tableaux de condensation de données de l'activité des étudiants est disponible dans l'annexe 4, support 2

un étudiant (transposition didactique ascendante). Cette notion est relative à un obstacle épistémologique majeur, c'est-à-dire, le calcul vectoriel nécessaire pour déterminer le **PREF**.

> Seq3SS1-E1-145 : « Par contre ce B180, c'est par exemple si je suis à 180 ; que je vais revenir à zéro, je dois mettre zéro, il faut pas que je met 180 et… »
> Seq3SS1-P1-146 : « Sur cette machine là, […] le signe devant définit le sens de rotation […] Donc si quand je suis ici, je dis « va à 180 », il fera le tour complet et il va revenir là. Et si d'ici je lui dis « vas à quatre vingt dix », il va aller là en tournant en plus, et si je lui dis va a B -90, va aussi venir là mais en tournant en moins, donc une fois il fera un quart en plus, une fois il fera trois quarts »
> Seq3SS1-E1-147 : « Alors si je me trompe de signe, je peux faire soit […], soit […] »
> Seq3SS1-P1-148 : « Voilà, tu peux faire soi t 1 degré soi t 359 »

L'affichage de distances Op/Om (Seq3SS1-E1-165)

Une autre spécificité des interactions est que le nombre d'échanges concernant les notions en jeu, est plus élevé que celles avec P1 et les autres étudiants.

Deux obstacles didactiques sont abordés : la fermeture de la porte et l'utilisation du potentiomètre des avances. Ces obstacles ont déjà fait l'objet de discussion. Avec E1 ne sont pas abordées les situations de dysfonctionnement.

Pour analyser le transfert de l'activité, il est intéressant de comparer l'activité de E1 face au simulateur en mode fraise et celle face au simulateur en mode tour dans le même type de situation.

Le transfert fraiseuse-tour dans le simulateur et la gestion des obstacles

Les échanges concernent la procédure – trois échanges - (Seq5SS1-E1-323, Seq5SS1-E1-382, Seq5SS1-P1-407) et une notion – un cas - (Seq5SS1-E1-358).

On remarque l'utilisation de la fonction de changement d'origine (Om/Op, PtCour), et l'utilisation du potentiomètre d'avances. Ces deux fonctions ont été des sources de difficultés dans la procédure suivie par E1 avec le simulateur en mode fraiseuse, et leurs solutions sembleraient être intégrées dans cette partie.

Dans la séquence fraisage les échanges concernent plus les notions en jeu (POM, le sens de l'axe de rotation, les références en fonction d'origine) que dans la séquence tournage (la somme vectorielle concernant la prise en compte de la cale).

Quatre des obstacles rencontrés par E1 dans la phase « fraisage » ne se répètent plus dans la séquence « tournage ». Les interventions de P1 auprès d'E1 sont dans le cas de la séquence « fraisage » des indications verbales de la procédure :

- Allumer la machine
- Régler le potentiomètre des avances
- Introduire des fonctions CN par clavier
- Changer le repère (Op/Om)

La fermeture de la porte constitue dans les deux cas (fraisage et tournage) un obstacle. Pendant la séquence « fraisage », P1 prend la souris du poste de E1 et exécute lui-même la procédure.

Un changement dans les modalités d'intervention de E1 se produit entre les deux séquences. Pendant la séquence « fraisage », E1 surmonte les obstacles par un retour partiel sur les actions. Ainsi, il recommence **là où il est nécessaire**, comme s'il souhaitait contrôler la situation depuis le début jusqu'à la fin. C'est le cas de la mise en fonctionnement de la machine (Raz CN) et de la détermination du POM. Pendant la séquence avec le « tour » E1 recommence plus souvent la procédure **depuis le début**. L'exemple le plus illustratif est celui de la fermeture de la porte, dans laquelle l'échec le conduit à refaire la procédure d'Imd quatre fois, et à recommencer depuis le POM. Un autre indicateur est le nombre de fois qu'il a utilisé la fonction Raz (qui efface la procédure dans le contrôleur de la machine). Cette fonction est utilisée une seule fois dans la séquence fraisage, et trois fois dans la séquence tournage.

L'utilisation du cahier de TD est plus fréquente dans l'utilisation du simulateur en mode fraise. La prise de confiance énoncée par les acteurs en contexte professionnel semble être à l'origine de ces faits.

10.3.1.2 Caractérisation de l'activité de E2

Les interactions langagières avec l'enseignant P1 concernent dans la plupart des cas les procédures (voir annexe 4), et notamment la prise d'informations.

Seq2SS1-66-E2 : « Est-ce que le bouton de *l'arrêt d'urgence*, il est appuyé ou pas ? »
Seq2SS1-86-E2 : « *Pour passer en mode manuel*? »
Seq3SS1-112-E2 : « Et c'est où qu'on fait les xxx *pour faire les PREF* ? »
Seq3SS1-149-E2 : « *Le rayon* c'est quoi ?
Seq3SS1-229-E2 : « *Le B il doit être à zéro*, non ? »

E2 demande aussi à P1 un diagnostic sur l'état de la procédure :

Seq3SS1-128-E2 : « Qu'est-ce qu'il y a ? »
Seq3SS1-167-E2 : « C'est pas moins 174 ↑ ? »

Les interventions de P1 répondent (en avance) aux besoins, aux obstacles rencontrés par l'étudiant. C'est le cas de l'affichage Op/Om, (Seq3SS1-P1-115) et de la fermeture de la porte (Seq2SS1-P1-87).

Le transfert fraiseuse-tour dans le simulateur et la gestion des obstacles

Dans l'analyse du transfert fraiseuse-tour, nous notons la présence de certains obstacles qui avaient été avancés par l'enseignant lors de la séquence « fraisage »:

- L'obstacle relatif aux notions Om/Op et à l'utilisation de la fonction G52 :

  Seq3SS1-349-P1 : « Et là ça marche pas parce que tu es par rapport à Op, et c'est par rapport à Om. Alors ce que tu peux faire pour pas être embêté, *tu te renvoies, puisque tu as enlevé tes valeurs, tu te renvoies aux valeurs que tu avais marquées et quand tu seras à ces valeurs tu cliques là-dessus pour revoir combien ça affiche*. »

L'intervention de l'enseignant permet d'entrevoir le type de médiation entre P1 et E2. Celle-ci a été identifiée une première fois lors de la gestion de la situation de dysfonctionnement de la butée électrique (voir paragraphe 5.1.3 de ce chapitre). En effet, P1 lui propose une solution qui relève d'un registre de technicité de maîtrise. P1, au lieu de prendre en charge manuellement les actions, propose des stratégies qui correspondent à une capacité d'intervention autonome.

Seq3SS1-351-P1 : « […] Tu auras aussi la solution […] puisque j'ai trouvé cette valeur, je vais chercher le PREF je vais chercher le DEC, *je ferais la différence dans le bon sens* et je retrouve la valeur, […] j'ai la flemme c'est plus simple tu vais buter et tu lui demandes à la machine de te faire le calcul ».

- L'obstacle didactique liée à la fermeture de la porte

Seq3SS1-351-P1 : « Voilà, alors pour le faire il faut que tu fermes la porte ici, voilà et il y a rien d'autre à faire.// E2 (ça me plaît ça) […] »

- L'obstacle épistémologique lié à la somme vectorielle le calcul du PREF :

Seq3SS1-357-P1 : « Alors là.. Non, 79 plus c'est pas logique ; attends tu étais à -111, oui peut être alors, oui tu *as l'intérêt de prendre des signes*. »

10.3.1.3 Caractérisation de l'activité de E3

Par sa position relative dans la classe, l'étudiant E3 accède mal au cahier de TD et à l'enseignant. Cela se traduit par un nombre d'interactions verbales entre cet étudiant et l'enseignant certes semblable à celles des autres étudiants (9 au lieu de 10, voir tableau 17 dans l'annexe 4), mais à un temps de parole beaucoup plus réduit.

L'analyse de l'activité de E3 et des interactions verbales montrent que cet étudiant échoue dans l'utilisation du simulateur.

- Dans la mise en œuvre du simulateur, P1 intervient en prenant en charge (avec la souris en main) la mise en fonctionnement, (voir Seq2SS1-P1-78).
- Dans la procédure du POM, P1 intervient, prend en charge une partie de la procédure (aller dans tous les axes en moins) et donne des consignes pour continuer (P1-111). E3 ne finit pas la procédure.
- Face à une situation de dysfonctionnement due à la butée électrique, (Seq3SS1-94 :117) P1 prend en charge la procédure.

Mais ce qui est plus intéressant dans l'analyse de l'activité d'E3 correspond aux **absences d'obstacles**. En effet, E3 ne positionne pas le porte pièce face à la broche pour atteindre le point choisi (Opi) pour le PREF. Deux conséquences sont à l'origine de cet oubli :
Il n'utilise pas le mode Imd[147], donc il n'a pas besoin de fermer la porte. E3 est alors, de fait, écarté de cet obstacle auquel se sont trouvés confrontés les autres étudiants.
Comment introduit-il le PREF alors qu'il n'a pas bien positionné la pièce face à la broche (pas Imd, pas de fermeture de la porte) ? dans la procédure qu'il met en œuvre, E3 introduit les valeurs du PREF calculées par E2 (qui est son voisin de poste) directement à l'aide du clavier, il évite donc l'utilisation de la machine en mode manuel, voir Seq3SS1-E3-205 :213.

Le transfert fraiseuse-tour dans le simulateur et la gestion des obstacles

Nous ne disposons pas des données relatives aux actions menées par E3, mais l'extrait suivant semble mettre en évidence qu'il se trouve en difficulté face à l'activité. Pendant une absence de P1, E3 explique qu'il n'a pas compris comment on calcule le vecteur PREF :

Seq5SS1-E3-366 : « Comment tu calcules le PREF là ? »
Seq5SS1-E3-367 : « Pour le petit PREF là en haut comment tu fais pour que ça marche ? »
Seq5SS1-E2-368 : « Attends »
Seq5SS1-E3-369 : « J'arrive pas moi// Comment tu fais ? »
Seq5SS1-E2-370 : « C'est comme dans une fraiseuse »
Seq5SS1-E3-371 : « Je comprends pas »
Seq5SS1-E2-372 : « Tu comprends pas// tu as pris combien ? »
Seq5SS1-E3-373 : « J'ai pris… »
Seq5SS1-E2-374 : « Moi j'ai pris combien…je sais plus qu'est-ce qu'il faut prendre. Et après c'est quoi, qu'est-ce qu'il y a ? »
Seq5SS1-E3-375 : « Et après je sais pas trop comment on calcule »

10.3.1.4 Comparaison de l'activité des étudiants

Dans l'activité de ces trois étudiants, nous avons identifié des modalités différentes dans la co-activité P-E. La représentation que les étudiants se font de leur propre activité est en rapport avec la co-activité P-E dans le jeu didactique, et a des conséquences sur l'évolution des modèles opératifs. L'analyse de cette co-activité a permis de mettre en évidence un changement de registre de technicité en fonction des acteurs. Le rôle de P1 auprès des étudiants E2 et E3 est représentatif de ce changement :

- Avec E3, P1 répète le dessin permettant d'effectuer le calcul du PREF, et prend systématiquement en charge la résolution des obstacles, il envisage le registre de la participation.

[147] Nous rappelons que le mode IMD obligeait à effectuer une procédure de fermeture de la porte

- Avec E2, P1 ne prend pas la souris mais suggère la procédure à suivre, et dans la gestion des obstacles, il propose plusieurs voies, il envisage le registre de la maîtrise.

Il semble difficile de caractériser le modèle opératif des étudiants. L'analyse menée a permis cependant une première approximation :

- D'abord par l'analyse des obstacles, qui se répètent, et parfois se transfèrent d'une situation à une autre. Nous avons ainsi identifié des obstacles didactiques au niveau de l'apprentissage de la machine outil, comme le cas de la fonction G52 ; ou avec le simulateur, comme la fermeture de la porte.
- Ensuite par la relation entre les tâches prescrites et l'activité effectuée, qui permet de caractériser l'activité des étudiants en relation avec les présences et les absences des obstacles (comme dans le cas d'E3).

Cependant, d'après ces résultats, il semblerait qu'une relation entre le registre de technicité envisagé par l'enseignant et le modèle opératif de l'étudiant puisse exister par l'analyse de la co-activité dont P1 détermine le sens. P1 envisage un registre de technicité différent selon les deux étudiants (E2 et E3).

L'analyse de la séance avec les étudiants apprentis permet de poursuive cette réflexion.

10.3.2 LA SEANCE DE FORMATION AVEC LES ETUDIANTS APPRENTIS

Les étudiants apprentis travaillent en équipe : Un binôme, composé par A1 et A2 ; et un trinôme formé par A3, A4 et A5. Lors de l'analyse de l'activité de l'enseignant nous avons mentionné le rôle du simulateur qui passe de médiateur à « objet de savoir ». Dans cette situation, le rôle joué par le cahier de TD est important. Nous avons noté dans l'analyse de l'activité de l'enseignant comment la faible présence des obstacles didactiques pourrait être lié au rôle du cahier de TD. Cependant quelques différences peuvent être identifiées entre les activités des deux groupes. Les étudiants du binôme (B), utilisent le simulateur « comme un jeu » et osent essayer ces différentes possibilités, même en s'écartant un peu de la procédure signalée par le cahier de TD. En revanche, les étudiants du trinôme (T) utilisent le simulateur « comme s'il était une machine » et suivent pas à pas avec beaucoup de précaution les étapes indiquées dans le cahier de TD.

Dans cette séance, les échanges entre pairs sont en nombre important et l'enseignant est appelé quand les possibilités exploitées au sein de chaque groupe sont épuisées. L'interaction entre pairs prime sur celle entre étudiants et enseignant.

10.3.2.1 Caractérisation de l'activité du Binôme

Nous avons avancé que la caractéristique de ce groupe est d'utiliser le simulateur comme un jeu.

Le simulateur comme «un jeu »

La situation de dysfonctionnement concernant la butée électrique revient trois fois. La résolution de cette situation est prise en charge par P1 dans les deux premiers cas, il laisse les étudiants la résoudre dans le dernier. Les étudiants reconnaissent être allés trop vite et P1 les avertit des dangers de faire ainsi lors de l'utilisation de la machine. L'obstacle épistémologique concerne le sens des axes, il est la cause des mauvaises sorties (trop vite avec le mouvement des axes dans le sens incorrecte) qui provoquent les butées électriques.

Les éudiants du binôme font face à l'obstacle didactique caractérisé par la fermeture de la porte, l'identifient rapidement à l'aide du cahier de TD et résolvent le problème posé (voir synopsis 17 annexe 2).

Nous notons que la faible présence des obstacles didactiques et des obstacles liés aux notions sous-jacentes à la tâche est en lien avec le rôle du cahier de TD. Les étudiants néophytes n'ont aucune expérience dans la mise en œuvre et le réglage de la machine. Ils suivent les indications portées dans le cahier de TD. Ces étudiants sont ainsi « submergés dans » la procédure. Cette hypothèse sera aussi confirmée par l'analyse des actions étudiées dans le cas du trinôme.

L'analyse après coup sur simulateur

Nous avons interrogé les étudiants avant et après l'utilisation du simulateur et après le passage sur la machine. Le binôme a choisi ici d'utiliser la machine « tour » alors que le simulateur était en mode « fraiseuse ».

En relation avec l'utilisation du simulateur, ces étudiants explicitent bien l'objet de la tâche et les causes des situations de dysfonctionnement générées :

ETPSS2A-CH-1 : « Comment cela s'est passé ? »
ETPSS2A –A1-2 : « Bien à part quelques erreurs »
ETPSS2A-CH-3 : « Comme quoi ? »
ETPSS2A –A1-4 : « Comme tout casser, donc ça bloque la machine après »
ETPSS2A-CH-5 : « Pourquoi ça bloque la machine ? »
ETPSS2A –A1-6 : « L'outil tape dans la pièce, sinon ça va, c'est compliqué un peu »
ETPSS2A-CH-7 : « Par rapport aux repères vous avez bien compris pourquoi il fallait le faire ? »
ETPSS2A –A1-8 : « Pour justement que la machine sache où est la pièce, »
ETPSS2A –A2-9 : « C'est fixer le repère, l'origine, à un endroit précis qu'on a fixé, pour éviter.. »
ETPSS2A-CH-10 : « Et comment fixez-vous cet endroit ? »

ETPSS2A –A2-11 : « En général dans le premier angle, au niveau de la surface avant, pas derrière, parce que ça traverse l'objet »

Dans un moment d'analyse de son activité, l'étudiant A1 note l'utilité du simulateur comme instrument pour réaliser une première activité :

ETPSS2A-CH-17 : « Maintenant, si vous deviez refaire un réglage de machine, comment vous vous prendriez vous ? »
ETPSS2A –A1-18 : « Moi je devrais le répéter d'abord une fois sur simulateur »
ETPSS2A-CH-19 : « Pourquoi ? »
ETPSS2A –A1-19 : « Parce que j'ai fait des erreurs là et je referais encore une fois […], ça dépend dans combien de temps […]»

Le transfert simulateur-machine

Lors de l'entretien après l'utilisation de la machine outil (tour), on a posé aux étudiants des questions concernant les différences entre l'utilisation du simulateur et celle de la machine. A2 préfère utiliser la machine. Il compare le simulateur à un logiciel.

ETPMfS2A –A2-5 : « Moi personnellement *je préfère la pratique*, on arrive à mieux visualiser que *sur le logiciel*, parce qu'ici quand on rentre les paramètres c'est beaucoup plus facile parce qu'on sait en avance ce qu'on va faire, alors que *sur un logiciel c'est plus abstrait* en quelque sorte »

Il se réfère à l'obstacle épistémologique lié au sens des axes (en relation avec la norme et le vecteur PREF) :

ETPMtS2A –A2-7 : « Parce que la première fois quand on l'a vu sur le logiciel, on sait pas trop comment le maîtriser, par exemple *pour le X+, X- on avait un petit souci de repérage dans l'espace*, pas tout à fait de repérage, mais *pour savoir le sens positif et négatif*, parce que *là en manipulant* on voit très vite où est-ce qu'il faut qu'on se réfère »
ETPMtS2A –A2-9 : « On avait plus du mal je trouve, moins vite qu'en pratiquant. *En pratiquant X- c'était quand on se rapprochait, X+ quand on s'éloignait de la broche »*

Cependant, ils indiquent que le simulateur est une aide à l'apprentissage, pour deux raisons :

ETPMtS2A –CH-32 : « Donc le simulateur vous a servi à quoi en fait ? »
ETPMtS2A –A1-33 : « A voir qu'on a des étapes, même au niveau de la sécurité »
ETPMtS2A –A2-34 : « Qu'est-ce qu'il ne faut pas faire, Tout à l'heure, là nos camarades se sont trompés de Z+ et Z- et il a détruit en quelque sorte l'objet, donc du coup là on pensait à chaque fois à baisser la puissance, à respecter les étapes voilà quoi, sur le simulateur on l'aurait pas forcement pensé »

En relation avec le transfert simulateur en mode fraisage vers un tour CN, les étudiants semblent reconnaître les différences matérielles entre la machine et le simulateur tout en identifiant le même principe de réglage :

ETPMtS2A –CH-12 : « Et par exemple, avec le simulateur, est-ce que le principe pour faire le réglage est le même qu'avec la machine ? »
ETPMtS2A –A2-13 : « Là c'est exactement les mêmes boutons, »
ETPMtS2A –CH-14 : « Et *la démarche* à suivre, est-ce que c'était la même ? »
ETPMtS2A –A2-15 : « Oui, c'était juste que *là c'était un tour, là c'était une fraiseuse*, à 4 *axes*, les trois et celui qui tourne, là il y avait juste deux axes à faire et c'est ce qui a changé »
ETPMtS2A –CH-16 : « Et *là il fallait mesurer la distance aux axes* en XYZ *et ici, en*… »
ETPMtS2A –A2-17 : « En *X et Z,* … B, X,Y et Z (il se réfère au simulateur) »

Ces étudiants expliquent aussi la différence dans l'utilisation des cales au lieu du palpeur.

Dans le paragraphe suivant, l'intérêt est porté à l'activité menée par les étudiants du trinôme (T) qui ont utilisé le simulateur et la fraiseuse CN.

10.3.2.2 Caractérisation de l'activité du Trinôme

Le groupe formé par le Trinôme suit pas à pas la procédure indiquée sur le cahier de TD.

Le simulateur comme l'application du cahier de TD

Lors de la procédure de POM, ce groupe rencontre un obstacle didactique provoqué par l'état initial du simulateur. Lors de la première démonstration, P1 effectue la manœuvre d' « envoyer les axes à zéro ». Les étudiants du trinôme doivent ensuite effectuer la même procédure, mais ce positionnement a déjà été atteint. Cet obstacle est caractéristique de la difficulté, énoncée aussi pour le binôme, des étudiants à s'abstraire des étapes dictées par le cahier de TD :

A5 lit la procédure et A4 l'exécute :

> Seq3SS2-A5-37 : « Oui… (Il reprend le cahier de TP) : déplacement en mode IMD, tapez la ligne de commande suivante : G0G52X0Y0Z0 »
> Seq3SS2-A5-39 : « Valider avec la touche LF, mettre le potentiomètre à zéro, et après appuyer sur départ cycle, »

A4 effectue un diagnostic de la situation

> Seq3SS2-A4-40 : « C'est ça et ça n'a pas marché »

A5 cherche dans le cahier de TD les possibles causes de ce dysfonctionnement :

> Seq3SS2-A5-41 : « Vérifier que les deltas se feront bien dans le »

A3 propose une alternative qui est approuvée par A5

> Seq3SS2-A3-42 : « On retape les instructions »
> Seq3SS2-A5-43 : « Oui »
> Seq3SS2-A3-44 : « G0G52X0Y0Z0B0, LF, le potentiomètre à zéro, départ cycle »

A4 refait le même diagnostic

> Seq3SS2-A4-45 : « Ça bouge pas non plus »

L'enseignant P1 arrive :

> Seq3SS2-P1-46 : « Ça va comme vous voulez ? »
> Seq3SS2-A4-47 : « Non, quand on a tapé la ligne de commande là, ça fait rien du tout, »
> Seq3SS2-P1-48 : « On va voir, essaie, tape-là (A4 retape la ligne de commande et ça ne fait rien) »
> Seq3SS2-A4-49 : « Ça fait rien »
> Seq3SS2-P1-50: « On va faire une remise à zéro et on retape tout (P1 prend la souris, pendant que A4 tape encore la ligne de commande avec le clavier),//Ça devrait marcher (A3 laisse sa place à P1), ah ! Qu'est-ce qui se passe ?//Ah, c'est parce qu'on y était, alors il se passait rien parce qu'on était déjà là (P1 part) »

Dans l'utilisation du simulateur, on identifie les obstacles épistémologiques relatifs au sens des axes et à la prise en compte des signes du vecteur PREF, et une situation de dysfonctionnement provoqué par la rupture du palpeur.

L'entretien après la séance permet de relever l'origine des difficultés dans la prise en compte des sens positifs et négatifs, ils déclarent que (ETPSS2A-A3-40 : « c'est le contraire de ce qu'on a l'habitude de faire. Pour nous c'est naturel, on a tendance à le noter dans l'autre sens ») et identifient cela avec la cause de certaines situations de dysfonctionnement (ETPSS2A-A3-39 : « Moi j'ai eu des difficultés c'est pour cela qu'un moment je suis rentré dans la pièce »).

Le transfert simulateur-machine

L'entretien après l'utilisation de la machine permet de noter les difficultés rencontrées par les étudiants, et d'identifier le rôle du cahier (« manuel ») lors de l'utilisation du simulateur.

> ETPMfS2A-A3-2 : « Moi je pense qu'il m'a un peu aidé dans le sens où on connaissait un peu les boutons et avec le manuel (cahier de TD) c'était quand même plus facile là, mais après, entre passer d'un simulateur à une machine ce n'est pas du tout la même chose, »

10.4 COMPARAISON DE L'ACTIVITE DES ETUDIANTS DANS LES DEUX SEANCES

Dans la comparaison des deux séances de formation, avec les expérimentés et les apprentis, deux aspects sont abordés : le rôle du cahier de TD et le rapport entre les modèles opératifs des étudiants et les registres de technicités envisagés par l'enseignant.

Le rôle du cahier de TD

L'utilisation du cahier de TD est très différente dans les deux séances et cela pour diverses raisons. La séance Se débute par une explication préalable dans laquelle les savoirs sont extraits de la situation (grâce à l'expérience des étudiants) afin d'illustrer l'enjeu de l'activité, le calcul du vecteur PREF. Ensuite l'enseignant effectue une démonstration. Les étudiants réalisent enfin la tâche proposée. E1 est le seul à utiliser le cahier et lorsque le simulateur est en mode tour, il ne l'emploie plus. Cette manière de procéder a un impact sur les obstacles didactiques rencontrés par ces étudiants expérimentés, qui connaissent a priori l'activité (au moins pour E2). Lors de cette première séance, l'utilisation du TD a le rôle d'aide au dépassement d'obstacles didactiques.

L'utilisation de ce document change dans la séance avec les étudiants apprentis (Sa). Les caractéristiques de cette séance ont été énoncées relativement au simulateur comme objet de savoir. Le cahier de TD devient un « manuel d'utilisation » permettant aux étudiants néophytes d'agir sur le simulateur. Une autre fonction de ce document est d'éviter les obstacles didactiques, et son absence dans la Sa confirme cette raisonnement. L'utilisation de ce document comme un guide, pourrait limiter la construction des compétences par des étudiants, qui restent concentrés sur les étapes de la procédure, une à une.

Rapport entre les modèles opératifs des étudiants et les registres de technicités envisagés par l'enseignant

Nous avons caractérisé les stratégies adoptés par les étudiants face au simulateur à travers de études de cas basées sur des traces de leur activité : les fichiers .did, les interactions verbales

entre étudiants et avec l'enseignant P1, les enregistrements vidéo, les entretiens. Cette caractérisation passe par la prise en compte de la co-activité entre l'enseignant et les étudiants, au niveau de la classe, et au niveau individuel. L'analyse de l'activité de l'enseignant s'est révélée particulièrement fructueuse pour étudier la modulation du registre de technicité en fonction du profil des étudiants expérimentés (E2 et E3).

Pour les apprentis qui travaillent en groupe, cela semble plus difficile à déterminer. Cette modulation du registre de technicité effectuée par l'enseignant, semble être en relation avec les caractéristiques des modèles opératifs, les « pouvoir d'agir » (Pastré, 2005) des étudiants, identifiés par l'enseignant en situation de formation. P1 établirait un diagnostic de la situation (« face à qui je suis ? ») et régulerait son activité comme enseignant. Face à E2, P1 propose deux options dans le registre pragmatique, et face à E3, il essaie de lui faire comprendre le calcul du vecteur PREF.

Dans la Sa, l'enseignant est face à des étudiants sans modèle opératif préalable, sans aucune représentation de l'activité de mise en fonctionnement et de réglage d'une MOCN. Le simulateur n'est plus le moyen, mais l'objet de l'apprentissage, permettant d'introduire les notions dans un aller-retour entre les registres épistémiques et pragmatique de la connaissance.

Conclusions et perspectives

Conclusions et Perspectives
Vers une compréhension de la relation contexte professionnel formation technologique supérieure par les processus transpositifs

La recherche apporte un éclairage sur les interactions réciproques, dialectiques, entre le contexte professionnel et celui de la formation ainsi que sur le fonctionnement des systèmes didactiques, en formations technologiques supérieures utilisant des simulateurs.

Nous souhaitons pointer un certain nombre d'éléments que nous considérons comme des apports de l'étude présentée :

- La portée heuristique de l'articulation théorique proposée au croisement de deux champs didactiques : la didactique de la technologie et la didactique professionnelle.
- L'interrogation des processus transpositifs dans ce contexte de formation particulier (enseignement technologique supérieur), en relation avec la spécificité des rôles des acteurs, notamment des enseignants-chercheurs.
- La mise en évidence que la « porte de la classe » est nécessaire et permet de délimiter des problématiques originales dans l'étude du phénomène de transposition didactique en formation technologique supérieure.

A) Concernant la dialectique entre le contexte professionnel et celui de la formation

L'approche didactique disciplinaire, relative à la technologie, a permis de discuter la spécificité des concepts techniques et des modes d'élaboration des savoirs dans le contexte de la formation technologique supérieure, en relation avec le contexte industriel. L'approche didactique disciplinaire, complétée par les apports de la didactique professionnelle dans le champ d'analyse des pratiques professionnelles, nous a permis de mettre en évidence certains processus.

L'élaboration des concepts techniques

D'un point de vue théorique, l'articulation proposée met en relation les modes d'élaboration des concepts techniques (théorisation des savoirs pragmatiques) et les modes d'apprentissage

dans les situations de formation hautement technique (pragmatisation des savoirs théoriques). La notion de modèle permet de problématiser l'étude de l'élaboration des concepts techniques dans le champ du génie mécanique. Le concept technique particulièrement analysé correspond au phénomène d'évolution temporelle de la broche dans une machine outil en fonctionnement.

Par une dialectique entre des éléments du contexte professionnel et d'autres issus de la recherche technologique appliquée, des résultats relatifs d'une part à l'analyse du phénomène en contexte professionnel (par l'activité d'un opérateur expert) et d'autre part à l'analyse de la modélisation effectuée dans le champ de la recherche en génie mécanique ont été avancés. Relativement à l'origine pragmatique, nous avons identifié le phénomène d'évolution temporelle de la broche comme étant, en contexte professionnel, lié à une situation de dysfonctionnement. Les difficultés dans la caractérisation de l'origine de ce phénomène ont pu être expliquées par le statut du référent empirique et la possibilité qu'il soit le résultat d'élaborations conceptuelles antérieures.

Nous avons pu relever les enjeux épistémiques, liés aux conceptions de la recherche dans un laboratoire technologique. Les différentes phases de caractérisation du modèle ont été identifiées : la réduction opératoire, les conditions de validation et l'extrapolation. Enfin, le résultat de cette modélisation a été analysé comme aboutissant à un concept technique.

L'étude de la modélisation des concepts techniques à partir des problématiques pragmatiques constitue un apport dans la compréhension des modalités d'élaboration et de développement des savoirs au sein d'une discipline technologique.

Le contexte de la formation technologique supérieure

Nous avons caractérisé l'institution de formation comme appartenant au modèle universitaire de la recherche. L'analyse théorique a fait émerger des relations possibles entre les approches disciplinaire et professionnelle :

- Entre les trois dimensions de la technicité : matérielle, philosophique et sociologique et les deux composantes de l'entité instrumentale : l'artefact et les schèmes d'utilisation associés.
- Entre l'étude des pratiques professionnelles correspondant aux pratiques de référence et aux registres de technicité visés dans un projet de formation.

L’élaboration du curriculum

La construction de curriculums dans la formation technologique est abordée par les rapports entre le contexte universitaire technologique et industriel et les objectifs de la formation.

Pour étudier ces rapports, la notion de pratique sociale de référence a été mobilisée. Développée par Martinand (1983), elle permet d’étudier les liens entre pratiques sociales et pratiques scolaires en termes d’écarts, de choix et de cohérence. L’étude de l’élaboration du curriculum a mis en lumière le rôle majeur des acteurs de la formation supérieure, qui construisent des concepts techniques, et participent à la fois à l’élaboration du curriculum et à sa mise en œuvre. Cet aspect a pu être intégré dans une méthodologie originale articulant :

- Les éléments de la structure conceptuelle de la situation de mise en fonctionnement et de réglage d’une MOCN en contexte professionnel
- Une partie du curriculum : le syllabus

En relation avec l’élaboration du curriculum, l’identification de certains critères (pratique professionnelle future des étudiants, contenus de formation, objectifs de la formation, mise en œuvre des contenus envisagée par les enseignants) a permis de préciser le registre de technicité visé par la formation comme étant celui de la participation (rôle non autonome mais dans la pratique) même si les enseignants envisagent pour les étudiants dans leur pratique professionnelle future, un registre de lecture. En effet, leur professionnalisation devrait conduire à terme ces étudiants actuels, à repérer les différentes composantes des activités des opérateurs d’usinage et des programmateurs afin intervenir en cas de problème.

Les processus transpositifs

L’approche théorique de la transposition didactique que nous avons réalisée tient compte de la particularité de la noosphère dans le cas de la formation technologique supérieure. Elle a conduit à identifier un obstacle dans la séparation classique des transpositions didactiques externe et interne. En effet, « la ligne de séparation entre le chercheur qui élabore des savoirs et l’enseignant qui développe un simulateur, ou entre la noosphère et l’enseignement est diffuse ». Nous avons établi une nouvelle démarcation, en considérant « la porte physique de la classe » comme élément pertinent permettant l’analyse du phénomène transpositif :

- La transposition « en dehors de la classe » tient compte de multiples rôles tenus par les enseignants-chercheurs.Elle aboutit à la construction des éléments (conceptuels, matériels, sociaux) qui seront utilisés pour la formation et qui ont été notamment élaborés dans le cadre des recherches en génie mécanique. Elle débouche sur le syllabus de la formation, mais aussi dans notre étude, de manière plus spécifique, sur la mise au point du simulateur et le cahier de TD.
- La transposition « dans la classe » s'intéresse aux processus mis en jeu dans une perspective ascendante de la définition des savoirs et des pratiques. Elle prend en charge l'analyse des savoirs et l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques, notamment en mobilisant le concept de coactivité tel qu'il est proposé en didactique professionnelle.

- ***La transposition didactique en dehors de la classe***

Les analyses ont porté sur deux situations ciblées dans la recherche. L'analyse de la transposition des savoirs porte d'abord sur les notions sous-jacentes aux tâches de mise en fonctionnement et de réglage d'une MOCN. Lors de ces analyses nous avons identifié des différences dans l'utilisation de certains termes. Elles s'expliquent plus spécifiquement, dans les situations étudiées, par les réductions effectuées dans les expressions vectorielles et l'approche procédurale proposée par certains manuels. Ces différences peuvent constituer de fait des obstacles à la compréhension des notions sous-jacentes aux tâches proposées aux étudiants.

L'analyse de la transposition des savoirs a porté ensuite sur les instruments de médiation utilisés pour la construction des savoirs et des pratiques en jeu : le simulateur informatique et le cahier de TD

Dans cette analyse, nous avons pu mettre en relation des éléments du contexte professionnel et du contexte de la formation. D'une part, au niveau de la transposition didactique du concept technique d'évolution temporelle de la broche, nous avons identifié des points communs entre la « modélisation » par le biais du simulateur et la représentation de cette situation en contexte professionnel. D'autre part, au niveau de l'instrument de médiation que constitue aussi le cahier de TD, nous avons pointé certaines similitudes avec le manuel de la machine, dont nous avons analysé le rôle en situation de formation.

- ***La transposition didactique dans la classe***

L'analyse de la transposition didactique dans la classe a été également centrée d'abord sur la caractérisation de la relation entre le contexte professionnel et celui de la recherche. Ainsi, nous avons étudié les éléments du contexte professionnel effectivement mobilisés dans la situation de formation.

Les rôles des acteurs de la formation (un enseignant-chercheur et un professeur agrégé) sont interrogés à propos des éléments de la structure conceptuelle de la situation de mise en fonctionnement et de réglage et du traitement de situations de dysfonctionnement. L'analyse des résultats met en évidence les « modifications » des situations de référence aux situations de formation du fait des contraintes matérielles et temporelles liées au milieu. L'analyse montre comment se distribuent les enseignements relatifs aux notions sous-jacentes à la tâche sur l'échelle du temps didactique.

<u>B) Concernant l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques et l'analyse ascendante de la transposition didactique</u>

L'étude du fonctionnement des systèmes didactiques a porté sur l'utilisation du simulateur de machine-outil comme instrument de médiation entre l'enseignant, l'étudiant et l'objet de savoir. Le rôle des enseignants chercheurs dans le projet éducatif, et les objectifs qui y sont associés, en termes de registre de technicité, a été précisé.

Le recours à la didactique professionnelle a permis de mobiliser la théorie de la conceptualisation dans l'action, qui confrontée aux contraintes d'un milieu didactique de formation initiale a montré toute sa pertinence. Notre intérêt s'est centré sur l'évolution des modèles opératifs des étudiants.

Une analyse ascendante du phénomène transpositif en classe et une analyse de la co-activité enseignants/étudiants ont été réalisées à partir de l'étude des interactions dans deux situations de formation mises en œuvre par un même enseignant avec deux groupes différenciés d'étudiants de licence, un groupe d'expérimentés – étudiants ayant développé un modèle opératif - et un groupe d'apprentis, avec un même enseignant. Nous avons ainsi pu établir une

relation entre le registre de technicité effectivement mis en œuvre et l'évolution des modèles opératifs des étudiants.

- ***Concernant l'enseignant***

L'étude de la co-activité enseignant-étudiants a été effectuée en deux étapes, d'abord en s'intéressant aux stratégies mobilisées par l'enseignant durant les différents moments de la séance de formation puis en précisant, par une analyse de marqueurs, les stratégies discursives.

La première séance avec le groupe d'expérimentés se déroule en trois moments : l'explication générale des notions, la démonstration de l'activité et la médiation dans l'activité des étudiants. L'analyse des synopsis de séance a permis d'identifier dans *le moment d'explication générale des notions*, trois stratégies mobilisées par l'enseignant :

- l'appui sur l'expérience préalable des étudiants

L'analyse des marqueurs privilégiés dans le discours de l'enseignant met en évidence que celui-ci s'appuie sur l'expérience préalable des étudiants (parfois professionnelle) pour « extraire » les notions en jeu dans la situation.

- la mobilisation des concepts mécaniques

L'enseignant s'appuie sur l'expérience des étudiants (premier moment) pour introduire des concepts en génie mécanique par d'élargissement du champ conceptuel.

- la mise en œuvre d'un exemple

L'enseignant conduit les étudiants dans l'activité par l'étude d'un exemple qui leur propose une tâche à effectuer (situation a-didactique) en leur permettant de mobiliser les notions introduites préalablement.

Le deuxième moment, de démonstration est caractérisé par deux stratégies basées sur l'explicitation de la procédure et sur l'aide que peut apporter le simulateur. L'enseignant passe d'un registre épistémique (premier moment) à un registre pragmatique de la connaissance. Les marqueurs discursifs témoignent de ce changement. Le passage de la « représentation » de l'activité à la « démonstration » de l'activité est caractérisé par une diminution du marqueur « si » et une augmentation de « voilà » qui exprime la réussite dans l'action.

Le troisième moment, de médiation, du point de vue de l'analyse de l'activité de l'enseignant, a été étudié en relation avec les obstacles rencontrés par les étudiants. Les obstacles didactiques sont liés à l'utilisation du simulateur et la stratégie associée de l'enseignant consiste à expliciter la procédure. Les obstacles liés aux notions sous-jacentes à la tâche, notamment la vision dans l'espace, sont traités par l'enseignant dans un registre épistémique, en expliquant les notions (utilisation du tableau dans la classe).

Dans la deuxième séance avec le groupe d'apprentis (néophytes quant à l'utilisation des MOCN), trois moments ont également été identifiés :
Le premier moment correspond à *l'explication générale, dans le parc des machines,* des principes généraux de fonctionnement des machines outils.
Lors du *deuxième moment de démonstration de l'activité,* l'enseignant introduit les notions, en s'appuyant sur une description de la procédure que les étudiants ont à répéter et en combinant deux stratégies employées lors de la première séance basées sur l'utilisation des concepts mécaniques et des notions sous-jacentes à la tâche,. Nous notons un changement du rôle du simulateur qui n'est plus un instrument de médiation entre les étudiants et l'objet de savoir. Il devient l'objet de savoir dans le cas de l'explication avec le groupe d'apprentis.
Le *troisième moment, de médiation* permet d'analyser les modalités d'intervention de l'enseignant en cas d'obstacle. Le cahier de TD semble permettre de limiter l'existence d'obstacles didactiques.

La comparaison de l'activité du même enseignant dans ces deux séances permet de relever un certain nombre d'éléments :

- En relation avec les différentes stratégies mises en œuvre

On remarque l'appui sur l'expérience face au groupe d'expérimentés et la « transmission » de l'expérience par l'explication générale dans le parc des machines face aux apprentis. Par ailleurs on note que la démonstration, si elle est mise en œuvre dans les deux cas, présente cependant des caractéristiques différentes. Elle est partielle et dans le registre pragmatique face aux expérimentés ; elle est plus complète et dans un registre passant de l'épistémique vers le pragmatique face aux apprentis. Ce point peut être relié à un aspect déjà relevé : dans le cas des étudiants expérimentés, le simulateur est un instrument de médiation entre le sujet et l'objet de savoir, comme le cahier de TD alors que dans le groupe des apprentis, le simulateur devient l'objet de savoir. *Ces différences peuvent être envisagées comme une régulation de la co-activité en fonction du groupe d'étudiants*.

- Par rapport au registre de conceptualisation visé par l'enseignant

Le passage d'un registre épistémique de la connaissance (relatif au fonctionnement du système) à un registre pragmatique (relatif à la conduction du système) est différent selon les groupes d'étudiants. Face aux expérimentés, ce passage est nettement marqué par des activités différentes : explication des notions et démonstration-médiation. Face aux apprentis, cette distinction est moins saillante et l'activité déployée par l'enseignant semble se dérouler dans l'un ou l'autre des registres en fonction des besoins de la situation.

- Concernant le registre de technicité mis en oeuvre

Les réflexions précédentes permettent d'éclairer l'orientation du registre de technicité en fonction des profils des étudiants. Nous avons identifié dans les deux cas que l'enseignant envisage un registre de participation. Cependant, dans la séance avec les expérimentés, l'élargissement du champ conceptuel permet de glisser vers un registre de lecture.

- ***Concernant les étudiants***

Nous avons analysé l'activité des deux groupes d'étudiants.

Le groupe d'expérimentés est formé par trois étudiants travaillant en autonomie face au simulateur. Nous avons analysé leurs activités à partir des actions réalisées avec le simulateur et par leurs interactions verbales. Il est possible de caractériser partiellement le modèle opératif de chacun des étudiants et de montrer des évolutions de ces modèles opératifs en relation avec des changements de registre de technicité.

La comparaison de l'activité des étudiants dans les deux séances, met d'abord en évidence des différences dans l'utilisation du cahier de TD. Pour les étudiants expérimentés, le cahier possède un rôle potentiel d'aide au dépassement d'obstacles didactiques. Dans le cas des étudiants apprentis, le cahier de TD est mis en relation permanente avec le simulateur comme objet de l'apprentissage.

L'étude du fonctionnement des systèmes didactiques, a mobilisé les ressources théoriques de deux didactiques, disciplinaire et professionnelle, dans une perspective comparatiste. Elle a permis d'analyser la pratique enseignante en termes de co-activité, et de relever l'importance de la prise en compte de cette co-activité dans les processus didactiques.

Perspectives

- L'analyse didactique réalisée, en termes d'obstacles et de transfert, permet d'ouvrir des perspectives dans le champ de l'ingénierie de formation pour le développement d'instruments de simulation.

- Concernant l'analyse de la pratique de référence, nous pouvons envisager la modélisation des situations permettant aux apprenants de mobiliser les concepts organisateurs de la situation, et ceci avec des registres de technicité différents. Un exemple d'application peut être envisagé avec le concept organisateur de « positionnement initial de la pièce », permettant à l'étudiant d'anticiper la faisabilité ou pas d'une position déterminée lors de l'usinage d'une pièce.

- Nous pouvons envisager la proposition d'ingénieries didactiques en relation avec les obstacles épistémologiques repérés.

- L'analyse de la chaîne transpositive complète, grâce au croisement de deux approches didactiques a permis de caractériser la relation entre le contexte professionnel et le contexte de la formation, dans le cas des formations technologiques supérieures. Dans ce sens, nous avons identifié le rôle majeur des acteurs de la formation et analysé leurs différentes pratiques. Ce même type de recherche peut être renouvelée dans d'autres champs de la formation technologique :

- pratiques de recherche : quelles modalités d'élaboration des concepts techniques ?
- pratiques de noosphère : quel registre de technicité envisage la formation ?
- pratiques d'enseignement : quel registre de technicité mis en œuvre dans la formation ?

- La caractérisation et l'analyse de l'évolution des modèles opératifs des étudiants en situation de formation initiale constituent un défi majeur pour la didactique professionnelle. L'approche méthodologique utilisée dans notre recherche (analyse des situations de formation, étude des interactions langagières, utilisation des traces des actions) s'avère prometteuse dans cette option.

- D’un point de vue théorique, l’approche comparatiste utilisée (didactique de la technologie, didactique professionnelle) et l’analyse de la relation entre le contexte professionnel et celui de la formation technologique supérieure semblent permettre d’enrichir les connaissances dans les deux champs.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Barbier, JM. (dir) (1996). *Savoirs Théoriques et savoirs d'action*. Paris : PUF.

Barbier, JM. (1999). De l'usage de la notion d'identité en recherche, notamment dans le domaine de la formation. *Education Permanente n° 128*. p 11-27.

Barbier, JM. (2003). L'activité : un objet intégrateur pour les sciences humaines ?, *Recherche et Formation n°42*, INRP, p. 99-11.

Bardin, L. (1977). *L'analyse de discours*. Paris : PUF.

Becerril, R. (2005). Mise en oeuvre d'un simulateur de MOCN, *Mémoire de D.E.A en Sciences de l'Education*, Université Toulouse Le Mirail.

Becerril, R., Calmettes, B., Fraysse, B., Lagarrigue, P., (2007). Relación entre la identidad profesional y la práctica docente: aplicación al estudio del profesorado de ingeniería de la producción en el desarrollo de un simulador. *Actes du premier congrès international de la formation continue des enseignants*. Barcelone. Septembre. p.135-157.

Boilevin, J-M. (2005). Deux exemples de dispositifs didactiques utilisant le problème de physique dans l'enseignement secondaire. *Aster n° 40*. p. 13-37.

Boucheix, JM. (2004), Simuler pour aider à comprendre. Relier les modèles mentaux selon une hiérarchie d'abstraction : la formation des grutiers au traitement des documents complexes. In P. Pastré & P. Rabardel (Ed). *Apprendre par la simulation : de l'analyse du travail aux apprentissages professionnels*. Toulouse : Octares. p. 131-155.

Brousseau, G. (1988). Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en didactique des mathématiques, vol.9 n°3*. p. 309-336.

Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques, en mathématiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.

Brousseau, G. (2003). *Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactique en mathématiques*, disponible sur : http://pagesperso-orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau.pdf, consulté le 31/3/2008.

C.O.P.R.E.T. (1986). *Propositions de la commission permanente de réflexion sur l'enseignement de la technologie*. Sèvre : Centre international d'étude pédagogique.

Caens-Martin, S. (2005). Concevoir un simulateur pour apprendre à gérer un système vivant à des fins de production : la taille de la vigne, In P. Pastré & P. Rabardel (Ed), *Apprendre par la simulation : de l'analyse du travail aux apprentissages professionnels*. Toulouse : Octares.

Caens-Marty, S., Specogna, A., Delépine, L. & Girerd, S. (2004), Un simulateur pour répondre à des besoins de formation sur la taille de la vigne, *Revue STICEF Volume 11*, disponible sur : http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2004/delepine-02/sticef_2004_delepine_02.pdf, consulté le 27/5/2008.

Calmettes, B. (1996), Contribution à l'étude de curriculums : le cas de l'enseignement de l'électrotechnique dans les classes du second degré des Lycées d'Enseignement Général et Technologique. *Thèse en didactique des disciplines scientifiques.* Université Paul Sabatier.

Cartonnet, Y. (2000), « L'actualisation de la technologie structurale pour la formation de la technicité d'un concepteur de produits industriels ». *Mémoire d'HDR didactique des disciplines.* Université Paris XI.

Cartonnet, Y. (2002). Former aux compétences de la conception ? *Séminaire des didactiques des disciplines technologiques.* Cachan (2000-2001). Ed : Association Tour 123. p. 5-15.

Cartonnet, Y. (2006). Comment caractériser la valeur pre-professionnalisante des formations technologiques ?. In Bernard Fraysse (dir). *Professionnalisation des élèves ingénieurs.* Paris : L'Harmattan. p. 87-103.

Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage.

Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Edition augmentée. Grenoble : La Pensée Sauvage.

Chevallard, Y. (1994). Les processus de transposition didactique et leur théorisation. In G. Arsac, Y. Chevallard, J-L. Martinand & A. Tiberghien (Ed). *La transposition didactique à l'épreuve*. Grenoble : La Pensée Sauvage. p. 137-180.

Chevallard, Y. (2003). Approche anthropologique du rapport au savoir et didactiques des mathématiques. In Maury, S. et Caillot, M. (dir), *Rapport au savoir et didactiques*. Paris : FABERT. p. 81-104.

Clot, Y., Daniellou, F., Jobert, G., Mayen, P., Olry, P. & Schwartz, Y. (2005). Travail et formation: les bénéfices d'une analyse exigeante. *Education Permanente n° 165*. p.139-140.

Combarnous M. (1984). *Les techniques et la technicité*. Paris : Messidor – Editions sociales.

Decomps, B. & Malgaive, G. (1996). Comment asseoir le concept d'université professionnelle ? In JM. Barbier (dir). Savoirs théoriques et savoirs d'action. Paris : PUF. p 57-72.

Dubar, C. (1996). *La socialisation, construction des identités sociales et professionnelles*. Paris : Armand Colin.

Durand, M. (1996). L'enseignement en milieu scolaire. Paris: PUF.

Durey, A. & Martinand, JL. (1994). Un analyseur pour la transposition didactique entre pratiques de référence et activités scolaires. In G. Arsac, Y. Chevallard, J-L. Martinand & A. Tiberghien (Ed). *La transposition didactique à l'épreuve*. Grenoble : La Pensée Sauvage. p. 73-104.

Falzon, P. & Teiger, C. (1999). Ergonomie et formation. In P. Carré & P. Caspar (Ed). *Traité des sciences et des techniques de la formation*. Paris : Dunod. p. 145-162.

Fraysse, B. (2000). La saisie des représentations pour comprendre la construction des identités. *Revue des Sciences de l'Education. Vol 26 n° 3*. p. 651-676.

Fraysse, B. (dir) (2006). *Professionnalisation des élèves ingénieurs*. Paris : l'Harmattan.

Gagnepain, JJ. & André, JC. (1996). Les savoirs des ingénieurs. In JM. Barbier (dir). Savoirs théoriques et savoirs d'action. Paris : PUF. p 91-100.

Gohier, C., Anadón, M., Bouchard, Y. & al. (2001). La construction identitaire de l'enseignant sur le plan professionnel : un processus dynamique et interactif. *Revue Canadienne des sciences de l'éducation Vol. 27 nº1*. p. 3-32.

Jaunereau, A. (2005). Partir du raisonnement des agriculteurs pour élaborer un simulateur de mise en culture du colza. *Education Permanente N° 165*. p. 115-126.

Landon, Y. (2003). Contribution à l'amélioration de la qualité d'usinage en fraisage 3 axes sur Machines-Outils à Comande Numérique par la mise en place d'un Compagnon Virtuel. *Thèse en génie mécanique*. Université Paul Sabatier.

Larose, F., Dirand, JM., Gitzhofer, F. & Bourque, J. (2006). Représentation des compétences requises pour l'exercice de la profession chez les formateurs et les élèves ingénieurs à l'université de Sherbrooke, In B. Fraysse (Ed). Professionnalisation des élèves ingénieurs. Paris: L'harmattant. p. 203-232.

Laudan. R., Ed. (1984). *The nature of technological knowledge: are models of scientific change relevant?*. Dordrecht: Reidel.

Lebeaume, J., & Cartonnet, Y. (2003). Quelques orientations introductives pour un bilan de recherches en didactique des disciplines technologiques, *Actes du séminaire des didactiques des disciplines technologiques*, Cachan (2001-2002). Ed : Association Tour 123. p. 31-42

Lenoir, Y., Larose, F. & Dirand, J-M. (2006). Formation professionnelle et interdisciplinarité: quelle place pour les savoirs disciplinaires ?. In Fraysse, B. (Ed). *Professionnalisation des élèves ingénieurs.* Paris : L'Harmattan. p.13-37.

Leplat, J. (dir). (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail*. Paris: PUF.

Leplat, J. (2003). Quelles évolutions en ergonomie ?. *Actes du XXXVIIIème Congrès de la SELF*. Paris. 24-26 Septembre. Disponible sur http://www.ergonomie-self.org/actes/congres2003.html, consulté le 24/1/2008.

Leplat, J., (2006), Les contextes de formation, *Education Permanente n° 166*. p.29-48.

Lessard, C., & Bourdoncle, R. (2002). Qu'est-ce qu'une formation professionnelle universitaire ? Conceptions d'université et formation professionnelle. Note de synthèse. *Revue française de pédagogie n° 139.* p. 131-154.

Lessard, C. & Tardiff, M. (2006). La nature et la place d'une formation professionnelle selon les conceptions de l'université, In Y. Lenoir & C. Boullier-Oudot (Ed). *Savoirs professionnels et curriculum de formation*. Quebec : Les presses de l'université de Laval. p. 27-66.

MOCN NUM© (Manuel de machine). (2002). Disponible sur http://sti.ac-montpellier.fr/rubrique.php3?id_rubrique=691, consulté le 28/5/2008.

Margolinas, C. (2005). Essaie de généalogie en didactique des mathématiques. *Revue Thema : didactique(s)- entre continuité et réorientation, n° 3*. Société suisse pour la recherche en éducation. p. 342-359.

Martinand, J.L. (1981). Pratiques sociales de référence et compétences techniques. A. Giordan & J.L. Martinand (Ed). *In Actes des 3ème JIES. Chamonix*.

Martinand, J.-L. (1983). Questions pour la recherche : la référence et le possible dans les activités scientifiques scolaires, in G. Delacôte & A. Tiberghien (coord.) *Recherche en*

didactique de la physique : les actes du premier atelier international. Paris : Editions du CNRS. pp. 227-249.

Martinand, J.-L. (1989) Pratiques de référence, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences techniques. *Les sciences de l'éducation, pour l'ère nouvelle*, N° 2. pp. 23-29.

Martinand, J.L. (1996). Introduction à la modélisation, *Actes du séminaire des didactiques des disciplines technologiques*. Cachan (1994-1995). Ed : Association Tour 123. p. 1-12.

Martinand, J.L. (2003). *La question de la référence en didactique du curriculum*. Disponible sur : http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol8/n2:V8_n2_a2.html. Consulté le 17/09/2007.

Mayen, P. (2004). Le couple situation-activité, sa mise en oeuvre dans l'analyse du travail en didactique professionnelle. In JF. Marcel et P. Rayou (dir). *Recherches contextualisées en éducation : 6° Biennale d'éducation et formation*. Paris : INRP. p. 13-27

Mercier, A. (2002). La transposition des objets d'enseignement la définition de l'espace didactique, en mathématiques. Note de synthèse. *Revue Française de Pédagogie* n° 141. p. 135-171.

Munoz, G. (2006). Filiations et ruptures en didactique professionnelle. *Education Permanente* n° 166. p. 87-103.

Pastré, P. (1992). Requalification des ouvriers spécialisés et didactique professionnelle. *Éducation permanente, n° 111*. pp. 33-54.

Pastré, P. (1999). La conceptualisation dans l'action : bilan et nouvelles perspectives. *Education Permanente n° 139*. p. 13-35.

Pastré, P. (2002). L'analyse du travail en didactique professionnelle, *Revue française de pédagogie n°138*. p. 9-17.

Pastré, P. & Samurçay, R. (Ed). (2004). *Recherches en didactique professionnelle*, Collection Formation P. Rabardel (dir). Toulouse : Octares.

Pastré, P. (2005). La conception de situations didactiques. In P. Rabardel & P. Pastré (Ed), *Modèles du sujet pour la conception.* Collection travail & activité humaine. Toulouse : Octares. p. 73-107.

Pastré, P. (2006). Apprendre par l'action, apprendre par la simulation. *Education Permanente n° 168*. p. 205- 216.

Pastré, P., Mayen, P. & Vergnaud, G. (2006). La didactique professionnelle. Note de synthèse. *Revue Française de Pédagogie n° 154*. p. 145-198.

Pastré, P. (2007). Quelques réflexions sur l'organisation de l'activité enseignante. Recherche et formation n° 56. p

Pastré, P. (2008). La didactique professionnelle : origines, fondements, perspectives. *In Travail et Apprentissages, Revue de didactique professionnelle n°1*. p. 9-21.

Perrenoud, P. (1990). Curriculum : le formel, le réel, le caché. In J. Houssaye & al., (dir). *La pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui*. Paris : ESF. p. 61-76.

Perrenoud, P., (1998), La transposition didactique à partir des pratiques : des savoirs aux compétences. *Revue Canadienne des sciences de l'éducation. Vol. XXIV, n° 3*. p. 487-514.

Pourtois, JP. & Desmet, H. (2007). Epistémologie et instrumentation en sciences humaines. (1° edition 1988). Belgique : Mardage.

Prudhomme, G. (1999). Le processus de conception de systèmes mécaniques et son enseignement. La transposition didactique comme outil d'une analyse épistémologique. *Thèse*. Université de Grenoble 1

Rabardel, P., & Pastré, P. (Ed). (2005). In *Modèles du sujet pour la conception*. Collection travail & activité humaine. Toulouse : Octares.

Rabardel, P. (1995), Eléments pour une approche anthropocentrique des techniques dans le système éducatif, *Actes du Séminaire de didactiques des disciplines technologiques*, Cachan, (1993-1994). Ed : Association Tour 123. p. 5-18.

Rabardel, P., Rak, I. & Vérillon, P. (1998). *Machines outils à commande numérique, approches didactiques.* Rapport de recherche : INRP.

Reuters, Y. (ed). (2007). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. Bruxelles : De Boeck.

Rogalski, J. (2003). Y a-t-il un pilote dans la classe ? Une analyse de l'activité de l'enseignant comme gestion d'un environnement dynamique ouvert. *Recherches en Didactiques de Mathématiques, vol 23, n°3*. Grenoble : La pensée Sauvage. p. 343-388.

Rogalski, J. (2004). La didactique professionnelle : une alternative aux approches de « cognition située » et « cognitiviste » en psychologie des acquisitions. *Revue @ctivites, n°1*. Disponible sur http:// www.activites.org/v1n2/Rogalski.pdf. Consulté le 24/11/07. p. 103-120.

Rogalski, J. (2006a). Articulations des théories de Piaget et de Vygostky, outils pour la didactique. In Castela & Houdement (Ed). *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques*. Année 2005. Paris : ARDM et IRM Paris 7. p. 237-262.

Rogalski, J. (2006b). L'analyse de l'activité de l'enseignant à partir de sa communication avec la classe/les élèves. In MJ Perrin-Glorian & Y Reuters (Ed.). *Penser les méthodes de recherche en didactiques.* Presses Universitaires du Septentrion. p. 85-110.

Rogalski, J. (2008). Théorie de l'activité et cadres développementaux pour l'analyse liée des pratiques des enseignants et des apprentissages des élèves. In Vanderbrouck F. (Ed). *La classe Mathématique : activité des élèves et pratiques des enseignants*. Toulouse : Octares. p. 237-280.

Rogalski, J. & Samurçay, R. (1994). Modélisation d'un « savoir de référence » et transposition didactique dans la formation de professionnels de haut niveau. In G.Arsac, Y. Chevallard, J-L. Martinand & A. Tiberghien (Ed). *La transposition didactique à l'épreuve*. Grenoble : La Pensée Sauvage. p. 35-72.

Samurçay, R. & Pastré, P. (1995). La conceptualisation des situations de travail dans la formation des compétences. *Education Permanente n° 123*. p. 13-31.

Samurçay, R. & Rabardel, P. (2004). Modèles pour l'analyse de l'activité et des compétences, propositions. In R. Samurçay et P. Rabardel (dir). *Recherches en didactique professionnelle*. Collection formation. Toulouse : Octares. p. 163-180.

Samurçay, R. (2005), Concevoir des situations simulées pour la formation professionnelle : une approche didactique. In P. Rabardel & P. Pastré (Ed). *Modèles du sujet pour la conception.* Collection travail & activité humaine. Toulouse : Octares. p. 53-73.

Savoyant, A. (2005). L'activité en situation de simulation : objet d'analyse et moyen de développement. In P. Pastré & P. Rabardel (Ed) *Apprendre par la simulation : de l'analyse du travail aux apprentissages professionnels*. Toulouse : Octares.

Savoyant, A., (2006), Tâche, activité et formation des actions de travail, *Education Permanente n° 166*, pp 127-136

Schubauer-Leoni, ML. & Leutenegger, F. (2005). Une relecture des phénomènes transpositifs à la lumière de la didactique comparée. *Revue Thema : didactique(s)- entre continuité et réorientation*, n° 3. Société suisse pour la recherche en éducation. p. 407-428.

Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. Chapitre 1. In G. Sensevy & A. Mercier (Ed.). *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Paideia, Presses universitaire de Rennes. p. 13-49.

Sensevy, G. & Mercier, A. (2007). Agir ensemble : l'action didactique conjointe. Chapitre 6. In G. Sensevy & A. Mercier (Ed.). *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Paideia, Presses universitaire de Rennes. p. 187-212.

Schneuwly, B., Dolz, J. & Ronveaux, C. (2006). Le synopsis : un outil pour analyser les objets enseignés. In M.-J. Perrin-Glorian, Y. Reuter (eds.). Les méthodes de recherche en didactique. Paris : PUS. p. 175-190.

Sidobre, D., (2005) « Machine Outils à Commande Numérique », disponible sur : http://www.laas.fr/~daniel/NotesDeCours/poly2005.pdf. Consulté le 28/5/2008.

Sonntag, M. (2007). Les formations d'ingénieurs : des formations professionnelles et professionnalisantes. Orientations, contenus, contextes. *Recherche et formation n° 55*. p 11-26.

Tiberghien, A., Malkoun, L., Buty, C., Souassy, N. & Mortimer, E. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps, Chapitre III, In G. Sensevy & A. A.Mercier (Ed.). *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Paideia, Presses universitaire de Rennes. p.

Vergnaud, G. (1990). La théorie de Champs Conceptuels. *Recherches en didactiques de mathématiques, Vol 10, n°2.3*. Grenoble : La Pensée Sauvage. p. 133-170.

Vergnaud, G. (2008) De la didactique des disciplines à la didactique professionnelle, il n'y a qu'un pas. *Revue Travail et Apprentissages n°1*. Dijon : Raisons et passions. p. 51-57.

Vérillon, P. (1998), Unité et diversité de la technologie, *Actes du Séminaire de didactiques des disciplines technologiques*, Cachan, (1996-1997). Ed : Association Tour 123. p. 5-16.

Vérillon, P. (2001). Relecture de l'ouvrage: How engineers know and how they know it: analytical studies from aeronautical history de W.G.Vicenti (1992). *Actes du Séminaire de*

didactiques des disciplines technologiques, Cachan, (1999-2001). Ed : Association Tour 123. p. 144-153.

Vérillon, P. & Rabardel., P. (1993). De l'analyse des compétences à l'élaboration des contenus: contribution de la psychologie et de la sémiologie à la conception en ingénierie didactique. In A. Bessot & P. Vérillon. *Espaces graphiques et graphismes d'espaces*. Grenoble : La pensée sauvage. p. 145-181.

Viard, J. (1995). Eléments pour l'établissement d'une distinction entre physique et technologie à travers leur mise en œuvre dans une résolution de problème. In G.Arsac, J.Gréa, D. Grenier & A. Tiberghien (Ed.). *Différents types de savoirs et leur articulation.* Grenoble: La pensée Sauvage. p. 58-79.

Vidal-Gomel, Ch. & Rogalski, J. (2007). La conceptualisation et la place des concepts pragmatiques dans l'activité professionnelle et le développement des compétences. *Revue @ctivités vol 4 n° 1*. Disponible sur http://www.activites.org/. Consulté le 12/08/2008.

Vicenti, W. (1992). *How engineers know and how they know it: analytical studies from aeronautical history*. Baltimore London: The Johns Hopkins university Press.

Table des figures

Figure 1 : Schéma général pour l'analyse de l'activité (d'après Leplat 1997)……p 66
Figure 2: Institutions qui interviennent dans le cadre de cette recherche……p 81
Figure 3 : Modélisation des concepts pragmatiques et pragmatisation des concepts théoriques……p 84
Figure 4 : La modélisation des concepts pragmatiques……p 88
Figure 5 : La pragmatisation des concepts théoriques……..p 90
Figure 6 : Premier pont entre la didactique de la technologie et la didactique professionnelle……p 95
Figure 7 : Deuxième pont entre la didactique de la technologie et la didactique professionnelle……p 98
Figure 8 : structure conceptuelle de la situation de mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN…… p 165
Figure 9 : Mise en position du brut de la pièce……... p 167
Figure 10 : Montage de l'outil dans la broche…… p 168
Figure 11 : Calcul du PREF……... p 169
Figure 12 : Introduction de la longueur d'outil…….. p 170
Figure 13 : Registre de modèles et registre du référent empirique (Martinand, 1994)….. p 187
Figure 14 : Organisation du tapuscrit de la thèse en génie mécanique…….. p 189
Figure 15 Cheminement conceptuel pour la construction du modèle…… p 191
Figure 16 : Articulation des résultats de recherche……... p 202
Figure 17 : Recueil de données et catégories d'analyse pour l'étude du curriculum……. p 204
Figure 18 : Figure illustrative proposée par le manuel des MOCN NUM®…….. p 219
Figure 19 : Défauts montrés par échelle de couleurs versus défauts sur une pièce. Copie d'écran du simulateur……. p 224
Figure 20 : Les catégories pour l'analyse de la transposition didactique dans la classe… p 231
Figure 21 : Dispositif d'étude de terrain, séance simulateur 2007…… p 250
Figure 22 : Dispositif d'étude de terrain, séance simulateur-machine 2008…….. p 251
Figure 23 : Deux niveaux d'analyses……. p 252
Figure 24 : Les différentes stratégies identifiées chez l'enseignant P1 dans deux moments et lors de deux séances de formation……. p 285

Table des tableaux

Tableau 1 : Données de l'étude exploratoire……. p 31
Tableau 2 : Les différentes raisons d'évolution des savoirs relatifs aux techniques……. p 47
Tableau 3 : Méthodologie pour l'analyse du travail…….. p 140
Tableau 4 : Méthodologie pour l'analyse épistémologique d'évolution d'un concept…. p 141
Tableau 5 : Méthodologie pour l'étude de l'élaboration d'une partie du curriculum….. p 142
Tableau 6 : Méthodologie pour l'étude de la transposition didactique externe…… p 143
Tableau 7: Méthodologie pour l'étude de la transposition didactique interne……. p 144
Tableau 8: Méthodologie pour l'activité de l'enseignant……. p 145
Tableau 9 : Méthodologie pour l'analyse de l'activité des étudiants……... p 145
Tableau 10 : Echanges verbaux avec l'opérateur sur la régulation de son activité en cas de dilatation de la broche……... p 182
Tableau 11 : Les différentes acceptions d'origine machine et origine mesure……. p 215
Tableau 12 : Réponses relatives au réglage, groupe d'experts……. p 255
Tableau 13 : Réponses relatives au réglage, groupe de novices……... p 257
Tableau 14 : Présence des marqueurs de discours de P1 dans les deux moments…… p 270
Tableau 15 : Présence des marqueurs de discours de P1 dans les trois moments…… p 280
Tableau 16: Présentation des machines conventionnelles…… p 283
Tableau 17 : Présence des marqueurs de discours de P1 dans le même moment des deux séances……..... p 288
Tableau 18 : Présence des marqueurs de discours de P1 dans le même moment des deux séances…….. p 293
Tableau 19: Représentation des échanges verbaux entre P1 et E1 (annexe 4)
Tableau 20 : Représentation des échanges verbaux entre P1 et E2 (annexe 4)
Tableau 21: Représentation des échanges verbaux entre P1 et E3 (annexe 4)

Table des Annexes

ANNEXE 1 : LES ENTRETIENS

ANNEXE 2 : LES OBSERVATIONS

ANNEXE 3 : LES DOCUMENTS DE REFERENCE

ANNEXE 4 : LES DOCUMENTS SUPPORTS D'ANALYSE

Table des Matières

INTRODUCTION GENERALE 17

CHAPITRE 1..... 25

ETUDE EXPLORATOIRE..... 25

1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE EXPLORATOIRE 26
1.2 PARTIE THEORIQUE DE L'ETUDE EXPLORATOIRE..... 27
1.2.1 LES MOTIVATIONS DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS CONCEPTEURS DU SIMULATEUR. 27
1.2.2 ELEMENTS THEORIQUES POUR DECRIRE LA SITUATION DE FORMATION..... 28
1.3 PROBLEMATISATION DE L'ETUDE EXPLORATOIRE 29
1.4 METHODOLOGIE DE L'ETUDE EXPLORATOIRE 30
1.5 RESULTATS ET DISCUSSION 31
1.5.1 MOTIVATIONS ET RÔLES DES CONCEPTEURS DU SIMULATEUR..... 31
1.5.2 LA MISE EN ŒUVRE DU SIMULATEUR EN SITUATION DE FORMATION..... 35
1.5.3 DISCUSSION DES RESULTATS DE L'ETUDE EXPLORATOIRE ET OUVERTURE..... 37

CHAPITRE 2..... 43

ETAT DES LIEUX 43

2.1 LES APPORTS DE LA DIDACTIQUE DE LA TECHNOLOGIE ET LE CONTEXTE DE LA FORMATION TECHNOLOGIQUE SUPERIEURE..... 44
2.1.1 REGARD DIDACTIQUE SUR LES ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES..... 46
2.1.1.1 Regard sur la construction des savoirs..... 46
2.1.1.2 Regard sur la construction de curriculums..... 48
2.1.2 LE CONTEXTE UNIVERSITAIRE TECHNOLOGIQUE 50
2.1.2.1 Caractérisation de la formation technologique en contexte universitaire..... 51
2.1.2.2 Dans quel modèle d'université s'inscrit la formation technologique ? 53
2.1.3 VERS DES ELEMENTS DE PROBLEMATISATION..... 55
2.2 LES APPORTS DE LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE : LES THEORIES D'APPRENTISSAGE 56
2.2.1 APPROCHE DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE 56
2.2.1.1 Ruptures et filiations entre didactique de disciplines et didactique professionnelle 57
2.2.1.2 L'apprentissage..... 58
2.2.1.3 La conceptualisation dans l'action..... 59
2.2.1.4 Caractérisation des situations de formation avec simulateurs..... 61
2.2.2 ELEMENTS DE PROBLEMATISATION..... 62
2.3 ETAT DES LIEUX : L'ANALYSE DU TRAVAIL POUR LA FORMATION 62
2.3.1 L'ANALYSE DU TRAVAIL EN DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE..... 63
2.3.1.1 L'importance de l'analyse de l'activité en didactique professionnelle 63
2.3.1.2 Les convergences et les divergences entre didactique professionnelle et ergonomie..... 64
2.3.1.3 Des débats vifs..... 66
2.3.2 L'ERGONOMIE DE LANGUE FRANÇAISE : CONCEPTS ET METHODES 67
2.3.2.1 Le lien entre ergonomie et formation..... 67
2.3.2.2 Les concepts et méthodes de l'ergonomie en lien avec l'analyse du travail préalable à la formation..... 68
2.3.3 DES EXEMPLES D'ANALYSE DU TRAVAIL : SUR L'ACTIVITE PRODUCTIVE D'USINAGE DE PIECES ET SUR LE DEVELOPPEMENT DE SIMULATEURS..... 69
2.3.3.1 Les analyses du travail ayant comme objet l'activité d'usinage avec des machines outils 70
2.3.3.2 Les analyses du travail ayant comme objectif le développement des simulateurs pour la formation..... 71
2.3.4 ELEMENTS DE PROBLEMATISATION: sur l'objet à enseigner dans un contexte déterminé..... 72
2.4 VERS L'ELABORATION D'UN CADRE THEORIQUE..... 72
2.4.1 LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE 73
2.4.1.1 Transposition didactique externe 74
2.4.1.2 Transposition didactique interne..... 75
2.4.2 VERS UNE ARTICULATION THEORIQUE..... 75

CHAPITRE 3..... 79

LE CADRE CONCEPTUEL DE LA RECHERCHE..... 79

3.1 L'ELABORATION DES CONCEPTS (RELATIFS AUX TECHNIQUES) DANS LE CONTEXTE UNIVERSITAIRE TECHNOLOGIQUE 81
3.1.1 VERS UNE MODELISATION DES CONCEPTS PRAGMATIQUES 84
3.1.2 PRAGMATISATION DES CONCEPTS THEORIQUES : LE CAS DES APPRENTISSAGES DES SITUATIONS HAUTEMENT TECHNIQUES ET COMPLEXES 88
3.2 LE CONTEXTE DE LA FORMATION UNIVERSITAIRE TECHNOLOGIQUE 90
3.2.1 PREMIER MOMENT DE CARACTERISATION DE L'INSTITUTION DANS UN MODELE UNIVERSITAIRE 91
3.2.2 DEUXIEME MOMENT DE CARACTERISATION DE LA DISCIPLINE 92
3.1.3 TROISIEME MOMENT DE L'ARTICULATION ENTRE UNE APPROCHE DIDACTIQUE DISCIPLINAIRE ET UNE APPROCHE DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE 95
3.3 LA CONSTRUCTION DU CURRICULUM DANS LE CONTEXTE UNIVERSITAIRE TECHNOLOGIE 98
3.3.1 LA QUESTION DE LA REFERENCE DANS LA CONSTRUCTION DE CURRICULUM 99
3.3.2 LES OBJECTIFS DANS LA CONSTRUCTION DU CURRICULUM 101
3.3.3 LA PLACE DE LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE DANS LA PROPOSITION DE CONTENUS D'ENSEIGNEMENT 104
3.4 PRESENTATION DE LA SITUATION DE FORMATION AVEC SIMULATEUR 106
3.4.1 PRESENTATION DU SIMULATEUR 106
3.4.2 LES REFERENCES THEORIQUES POUR L'ETUDE DES PROCESUS TRANSPOSITIFS 107
3.4.2.1 La transposition didactique externe 107
3.4.2.2 La transposition didactique interne 108
3.4.2.3 La prise en compte des processus transpositifs dans le contexte de la formation technologique supérieure 108
3.5 L'ETUDE DU FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DIDACTIQUES AVEC SIMULATEUR 109
3.5.1 VERS UNE APPROCHE THEORIQUE D'ETUDE DES SITUATIONS D'ENSEIGNEMENT AVEC SIMULATEUR 110
3.5.2 L'ANALYSE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-CLASSE : DU CÔTE DE L'ENSEIGNANT 110
3.5.3 L'ANALYSE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-CLASSE : DU CÔTE DES ETUDIANTS 111

CHAPITRE 4 117

PROBLEMATIQUE GENERALE DE LA RECHERCHE 117

4.1 ETUDE DE LA RELATION ENTRE CONTEXTE PROFESSIONNEL ET DE LA FORMATION PAR L'ELABORATION DES CONCEPTS TECHNIQUES 119
4.1.1 PRESENTATION DE LA QUESTION DE RECHERCHE 119
4.1.1.1 Le mouvement de théorisation des savoirs pragmatiques 119
4.1.2 DELIMITATION DE L'OBJET DE RECHERCHE 121
4.1.2.1 L'étude des contextes : le contexte professionnel 121
4.1.2.2 L'étude des contextes : le champ de la recherche en génie mécanique 121
4.2 ETUDE DE LA RELATION ENTRE LE CONTEXTE DE LA FORMATION ET LE CONTEXTE PROFESSIONNEL CONCERNANT L'ELABORATION DE CURRICULUM 122
4.2.1 PRESENTATION DE LA QUESTION DE RECHERCHE 122
4.2.1.1 Objectifs d'une formation technologique et approche instrumentale 123
4.2.1.2 Registre de technicité et pratique professionnelle associée 124
4.2.2 DELIMITATION DE L'OBJET DE RECHERCHE 125
4.2.2.1 Le contexte universitaire technologique : le syllabus de la formation concernée 125
4.2.2.2 La proposition des contenus de formation : la transposition didactique en dehors de la classe 126
4.3 ETUDE DE LA RELATION ENTRE LE CONTEXTE DE LA FORMATION ET LE CONTEXTE PROFESSIONNEL A TRAVERS LE FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DIDACTIQUES 127
4.3.1 PRESENTATION DE LA QUESTION DE RECHERCHE 127
4.3.1.1 La transposition didactique dans la classe 128
4.3.1.2 L'étude des systèmes didactiques avec simulateur 129
4.3.2 DELIMITATION DE L'OBJET DE RECHERCHE 130
4.3.2.1 La transposition didactique dans la classe 130
4.3.2.2 Etude du fonctionnement d'un système didactique avec simulateur 131

CHAPITRE 5 137

METHODOLOGIE GENERALE DE LA RECHERCHE 137

5.1 PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE GENERALE DE LA RECHERCHE 138
5.2 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA RELATION ENTRE LE CONTEXTE PROFESSIONNEL ET CELUI DE LA FORMATION 139

5.2.1 L'ANALYSE DU TRAVAIL : ETUDE DE DEUX SITUATIONS EN CONTEXTE PROFESSIONNEL ... *140*
5.2.2 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA MODELISATION DES CONCEPTS RELATIFS A LA TECHNIQUE ... *141*
5.2.3 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE L'ELABORATION D'UNE PARTIE DU CURRICULUM ET DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE EN DEHORS DE LA CLASSE ... *142*
5.2.4 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE DANS LA CLASSE ... *144*
5.3 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DU FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DIDACTIQUES 144
5.3.1 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-CLASSE : DU CÔTE DE L'ENSEIGNANT ... *145*
5.3.2 METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-CLASSE : DU CÔTE DE LA CLASSE (DES APPRENANTS) ... *145*

CHAPITRE 6 ... **153**

RESULTATS DE L'ANALYSE DU TRAVAIL ... **153**

6.1 LE CHOIX DES SITUATIONS POUR L'ANALYSE DU TRAVAIL ... 154
6.1.1 JUSTIFICATION DE CHOIX DES SITUATIONS DE TRAVAIL ETUDIEES ... *154*
6.1.2 ANCRAGE THEORIQUE DE L'ANALYSE DU TRAVAIL ... *155*
6.1.3 ANCRAGE METHODOLOGIQUE DE L'ANALYSE DU TRAVAIL ... *156*
6.2 METHODOLOGIE ET RECUEIL DE DONNEES ... 157
6.2.1 L'ANALYSE GLOBALE DU CONTEXTE DE TRAVAIL ... *157*
6.2.2 L'ANALYSE DE L'ACTIVITE D'UN OPERATEUR EXPERT ... *158*
6.2.3 VERIFICATION ET APPROFONDISSEMENT DE LA STRUCTURE CONCEPTUELLE DE LA SITUATION ... *159*
6.3 ELABORATION DE LA STRUCTURE CONCEPTUELLE DE L'ACTIVITE DE L'OPERATEUR ... 159
6.3.1 ETUDE DE LA SITUATION DE MISE EN FONCTIONNEMENT ET REGLAGE D'UNE MOCN *160*
6.4 ETUDE DE LA SITUATION DE MISE EN FONCTIONNEMENT ET REGLAGE D'UNE MACHINE OUTIL A COMMANDE NUMERIQUE ... 166
6.5 ANALYSE DES DIFFICULTES DES OPERATEURS NOVICES ... 171

CHAPITRE 7 ... **179**

ETUDE DE LA MODELISATION DES CONCEPTS TECHNIQUES ... **179**

7.1 METHODOLOGIE ... 180
7.1.1 ANCRAGE THEORIQUE ... *180*
7.1.2 METHODOLOGIE D'ETUDE DE LA MODELISATION DE LA DILATATION DE LA BROCHE *181*
7.2 PRESENTATION DU PHENOMENE D'EVOLUTION TEMPORELLE DE LA BROCHE ... 182
7.2.1 ANALYSE DU PHENOMENE LIE A LA DILATATION DE LA BROCHE EN CONTEXTE PROFESSIONNEL ... *182*
7.2.2 ANALYSE DU PHENOMENE : EVOLUTION TEMPORELLE DE LA BROCHE, EN CONTEXTE DE RECHERCHE ... *183*
7.3 ETUDE DE LA MODELISATION D'UN CONCEPT TECHNIQUE : L'EVOLUTION TEMPORELLE DE LA BROCHE ... 184
7.3.1 LE PHENOMENE DE DILATATION DE LA BROCHE EST-IL LIE A UN CONCEPT PRAGMATIQUE ? ... *184*
7.3.2 CONDITIONS DE L'ETUDE DE LA MODELISATION EFFECTUEE DANS LE CHAMP DE GENIE MECANIQUE ... *186*
7.3.2.1 Analyse du document : critères d'analyse ... 186
7.3.2.2 Caractérisation générale du document de recherche en génie mécanique ... 188
7.4 ANALYSE GLOBALE DU PROCESSUS D'ELABORATION D'UN MODELE ... 190
7.4.1 ETUDE DU PARADIGME EPISTEMIQUE ... *190*
7.4.2 ETUDE DU PROCESSUS D'ELABORATION DU MODELE ... *192*
7.5 CARACTERISATION DES MODELES ELABORES ... 193
7.5.1 LE TYPE DE MODELISATION ... *193*
7.5.2 LA REDUCTION OPERATOIRE ... *194*
7.5.3 LA VISEE SCIENTIFIQUE ... *195*
7.5.4 EST-IL UN CONCEPT TECHNIQUE ? ... *196*

CHAPITRE 8 ... **201**

ETUDE DU CURRICULUM ET TRANSPOSITION DIDACTIQUE EN DEHORS DE LA CLASSE .. 201

8.1 ANALYSE DE L'ELABORATION DU CURRICULUM ... 203
8.1.1 ANCRAGE THEORIQUE ... 203
8.1.2 ANCRAGE METHODOLOGIQUE ... 204
8.1.2.1 Les catégories d'analyse ... 204
8.1.2.2 Les données ... 205
8.1.3 DISCUSSION DES RESULTATS ... 205
8.1.3.1 La pratique professionnelle future des étudiants ... 206
8.1.3.2 La construction des contenus de formation ... 207
8.1.3.3 Les objectifs de la formation ... 208
8.1.3.4 La mise en œuvre des contenus ... 209
8.2 ETUDE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE EN DEHORS DE LA CLASSE ... 210
8.2.1 METHODOLOGIE D'ANALYSE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE EN DEHORS DE LA CLASSE ... 211
8.2.1.1 Ancrage théorique ... 211
8.2.1.2 Ancrage méthodologique ... 211
8.2.2 AUTOUR DU REGLAGE DE LA MACHINE ... 212
8.2.2.1 Analyse de la tâche et savoirs sous-jacents ... 212
8.2.2.2 Transposition didactique en dehors de la classe et simulateur ... 219
8.2.3 AUTOUR DE L'EVOLUTION TEMPORELLE DE LA BROCHE ... 222
8.2.3.1 La dilatation de la broche ... 222

CHAPITRE 9 ... 229

ETUDE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE DANS LA CLASSE ... 229

9.1 ETUDE DE LA MISE EN ŒUVRE DU CURRICULUM ... 230
9.1.1 ANCRAGE THEORIQUE ... 230
9.1.2 ANCRAGE METHODOLOGIQUE ... 230
9.2 RESULTATS ET DISCUSSION ... 231
9.2.1 LA PRATIQUE PROFESSIONNELLE FUTURE DES ETUDIANTS ... 231
9.2.2 LES ELEMENTS DE LA SCS ... 233
9.2.3 LES MODALITES DE MISE EN ŒUVRE DANS LA SITUATION DE CLASSE ... 234
9.2.4 L'INTEGRATION DES ELEMENTS ABORDES PENDANT LES COURS DANS LE CURRICULUM ... 236

CHAPITRE 10 ... 243

ETUDE DU FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DIDACTIQUES AVEC SIMULATEUR ... 243

10.1 METHODOLOGIE ... 244
10.1.1 ANCRAGE THEORIQUE ... 244
10.1.1.1 Approché théorique sur l'activité de l'enseignant ... 244
10.1.1.2 Approché théorique sur l'activité des étudiants ... 245
10.1.2 ANCRAGE METHODOLOGIQUE ... 246
10.1.2.1 Le dispositif de recueil de données ... 246
10.1.2.2 Types de données et recueil ... 248
10.1.3 CHOIX DES SEQUENCES ET ANALYSE DE DONNES ... 252
10.1.3.1 L'analyse des données : du côté de l'enseignant ... 252
10.1.3.2 L'analyse des données : du côté de l'apprenant ... 253
10.1.4 CARACTERISATION DES ACTEURS ... 254
10.1.4.1 L'enseignant P1 ... 254
10.1.4.2 Le « groupe d'expérimentés » ... 255
10.1.4.3 Le « groupe d'apprentis » ... 256
10.1.5 L'ORGANISATION DE RESULTATS ... 257
10.2 ETUDE DE LA CO-ACTIVITE ENSEIGNANT-ETUDIANTS : DU CÔTE DE L'ENSEIGNANT P1257
10.2.1 LA PREMIERE SEANCE : FACE AU GROUPE D'EXPERIMENTES ... 258
10.2.1.1 L'explication générale des notions en jeu ... 258
10.2.1.2 La démonstration de l'activité ... 267
10.2.1.3 La médiation dans l'activité des étudiants ... 273
10.2.1.4 La dilatation de la broche ... 281
10.2.2 LA DEUXIEME SEANCE : FACE AU GROUPE D'« APPRENTIS » ... 282
10.2.2.1 Explication générale dans le parc des machines ... 283
10.2.2.2 La démonstration de l'activité ... 284
10.2.2.3 La médiation dans l'activité des étudiants ... 289

10.2.3 COMPARAISON DE LA CO-ACTIVITE DANS LES DEUX SEANCES DE FORMATION : DU COTE DE L'ENSEIGNANT P1 ... *292*
10.2.3.1 Le moment d'explication ... 292
10.2.3.2 La démonstration de l'activité ... 294
10.2.3.3 La Médiation de l'enseignant P1 ... 294
10.3 ETUDE DE LA CO-ACTIVITE ETUDIANT-ENSEIGNANT À PARTIR DE L'ANALYSE DE L'ACTIVITE DES ETUDIANTS ... 296
10.3.1 LA SEANCE DE FORMATION AVEC LES ETUDIANTS EXPERIMENTES ... *296*
10.3.1.1 Caractérisation de l'activité d'E1 ... 296
10.3.1.2 Caractérisation de l'activité de E2 ... 298
10.3.1.3 Caractérisation de l'activité de E3 ... 299
10.3.1.4 Comparaison de l'activité des étudiants ... 300
10.3.2 LA SEANCE DE FORMATION AVEC LES ETUDIANTS APPRENTIS ... *301*
10.3.2.1 Caractérisation de l'activité du Binôme ... 302
10.3.2.2 Caractérisation de l'activité du Trinôme ... 304
10.4 COMPARAISON DE L'ACTIVITE DES ETUDIANS DANS LES DEUX SEANCES ... 305

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES ... 309

Résumé

La thèse s'intéresse aux interactions réciproques entre le contexte professionnel et le contexte de la formation technologique supérieure. L'approche théorique mobilisée est au croisement de la didactique de la technologie et de la didactique professionnelle. Les données mettent d'abord en évidence les effets d'une des spécificités de l'enseignement supérieur : la prescription curriculaire interne aux acteurs de la formation. L'analyse porte sur le phénomène transpositif des situations en contexte professionnel vers le contexte de la formation, via un simulateur informatique.

Les résultats caractérisent la chaîne transpositive complète : l'analyse des situations visées en contexte professionnel, le processus de modélisation des concepts techniques, l'élaboration du curriculum et la transposition en dehors de la classe. La transposition didactique dans la classe concerne l'étude du fonctionnement des systèmes didactiques. Il existe une variabilité dans le registre de technicité en fonction des profils des étudiants, le projet éducatif dans le cas des formations technologiques supérieures rentre dans la classe.

Mots clés

Didactique professionnelle, didactique de la technologie, contexte professionnel, formation technologique supérieure, phénomène transpositif, co-activité.

Abstract

This thesis focuses on the reciprocal relationship between graduate studies in technology and the professional world. The chosen theoretical approach combines a didactic approach to technology and a didactic approach to profession. The results of the study underline the effects of one of higher education's particularities: the curriculum is established by academics, not professionals. The analysis focuses on the translation of a professional situation into that of academic instruction, via a computer-simulator. The results of the study describe the chain of events required to carry out such a translation: the analysis of the professional situation aimed at, the modelling of the pertinent technical concepts, the consequent creation of a relevant curriculum of study and the eventual application outside of the classroom. The didactic application outside of the classroom has to do with the study of how didactic systems work. Depending on the students' profiles, a certain variation can be traced in the technicity register; in the case of technological training, the educational project enters the classroom. How pertinent the instruction is in the classroom relies heavily on the study of didactical systems? Some of the variables concerned include the technical aptitude of the students.

Keywords

Professional training, practical applications, the professional context, graduate studies in technology, *commutative properties*, transpositive phenomenon, co-activity.